

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**MANTENIMIENTO DEL HORNO DE CALENTAMIENTO
DE CRUDO EN LA REFINERIA DE IQUITOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO**

JUAN MANUEL MONZÓN GUERRERO

PROMOCION 2007-I

LIMA-PERU

2010

Dedicatoria:

A mis padres, por dame la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y el apoyo en todo momento para culminar mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO.....	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	3
2.1. <i>Generalidades</i>	3
2.2. <i>Objetivo</i>	4
2.3. <i>Antecedentes</i>	4
2.4. <i>Alcance</i>	6
2.5. <i>Justificación</i>	6
2.6. <i>Limitaciones</i>	7
CAPÍTULO II	
HORNOS EN REFINERÍAS.....	8
2.1. <i>Introducción</i>	8
2.2. <i>Empleo de los Hornos Tubulares en Refinerías de Petróleo</i>	8
2.2.1. <i>Calentamiento de un fluido sin cambios de fases</i>	8
2.2.2. <i>Calentamiento de un fluido con vaporización parcial</i>	9
2.2.3. <i>Calentamiento de un fluido con reacción química</i>	9
2.3. <i>Características generales de los hornos tubulares</i>	9
2.4. <i>Rendimiento de un horno</i>	11
2.5. <i>Descripción de los diferentes tipos de hornos</i>	13
2.5.1. <i>Hornos de convección (fig. 2.1. A)</i>	14
2.5.2. <i>Hornos clásicos (Box Heater) (fig. 2.1. B y fig. 2.1. C)</i>	14
2.5.3. <i>Hornos de cabina</i>	15
2.5.4. <i>Horno tipo SELAS (fig. 2.1. F)</i>	15
2.5.5. <i>Hornos cilíndricos verticales (fig. 2.1. G)</i>	15
2.5.6. <i>Horno Petrochem (fig. 2.1. H)</i>	16
2.6. <i>Nomenclatura de los Calentadores</i>	18
2.7. <i>Descripción y construcción de hornos de refinerías</i>	22
2.7.1. <i>Descripción general de la estructura de un horno</i>	22
2.7.2. <i>Tubos y accesorios del haz tubular</i>	24
2.7.3. <i>Materiales refractarios aislantes</i>	27
2.7.4. <i>Quemadores</i>	28
2.8. <i>Control y marcha de los hornos</i>	30

2.9.	<i>Reemplazo de tubos del Horno</i>	31
2.9.1.	<i>Predicción de la vida restante de un tubo</i>	31
2.9.2.	<i>Criterios de sustitución de los tubos</i>	33
2.9.3.	<i>Métodos de Inspección de Calentadores</i>	35
2.9.4.	<i>Pruebas de ruptura con aceleración del creep</i>	36
CAPITULO III		
ESTADO DEL HORNO DE CALENTAMIENTO DE CRUDO 311-H1		38
3.1.	<i>Descripción del Horno 311-H1</i>	38
3.2.	<i>Especificaciones Técnicas del Horno 311-H-1 de Refinería de Iquitos</i>	40
3.3.	<i>Factores que ocasionan deterioro del horno</i>	44
3.3.1.	<i>Incidencia de las llamas en los tubos</i>	44
3.3.2.	<i>Combustión Retardada</i>	44
3.4.	<i>Inspecciones Realizadas al Equipo</i>	45
3.4.1.	<i>Inspecciones Rutinarias con el equipo en Operación</i>	45
3.4.2.	<i>Inspecciones programadas en Parada de Planta</i>	46
3.5.	<i>Evaluación Integral de los tubos de la Zona Radiante</i>	47
3.5.1.	<i>Inspección Visual (VT)</i>	47
3.5.2.	<i>Inspección por Ultrasonido Haz Normal (UT)</i>	48
3.5.3.	<i>Inspección por Dureza (HT)</i>	48
3.5.4.	<i>Inspección por Réplicas Metalográficas</i>	49
3.6.	<i>Evaluación Integral Termográfica del Horno</i>	55
3.6.1.	<i>Termografía Infrarroja</i>	55
3.6.2.	<i>Fundamentos de la termografía por infrarrojos</i>	55
3.6.3.	<i>Inspección por Termografía Infrarroja</i>	56
3.6.4.	<i>Consideraciones Técnicas de Inspección por Termografía</i>	56
3.6.5.	<i>Análisis de la Zona Convectiva</i>	58
3.6.6.	<i>Análisis de la Chimenea</i>	60
3.7.	<i>Determinación del Problema</i>	61
CAPITULO IV		
TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO		64
4.1.	<i>Mantenimiento tradicional efectuado al horno</i>	64
4.1.1.	<i>Trabajos de mantenimiento preventivos</i>	64
4.1.2.	<i>Trabajos de mantenimiento correctivos</i>	64
4.1.3.	<i>Métodos de Limpieza externa de las aletas o tetones y superficies extendidas</i>	65

4.1.4.	<i>Método de Decoquizado de los tubos del horno mediante la mezcla aire – vapor</i>	66
4.2.	<i>Propuesta del mantenimiento y reparación actual del Horno</i>	68
4.3.	<i>Trabajos previos al mantenimiento del Horno</i>	69
4.3.1.	<i>Fabricación de nueva Zona Convectiva</i>	69
4.3.2.	<i>Adecuación de la Chimenea</i>	72
4.4.	<i>Soldabilidad de los tubos de acero al cromo-molibdeno</i>	73
4.4.1.	<i>Aceros al Cr-Mo</i>	73
4.4.2.	<i>Soldabilidad de los aceros al Cr-Mo</i>	75
4.4.3.	<i>Materiales de Aporte</i>	76
4.4.4.	<i>Pre calentamiento</i>	76
4.4.5.	<i>Tratamiento Térmico Post-Soldadura (PWHT : Postweld Heat Treatment)</i>	78
4.4.5.1.	<i>Calentamiento por inducción</i>	79
4.4.5.2.	<i>Calentamiento por resistencia eléctrica</i>	80
4.5.	<i>Procedimiento de Instalación de anclajes</i>	81
4.5.1.	<i>Materiales</i>	81
4.5.2.	<i>Distribución de Anclajes</i>	81
4.5.3.	<i>Soldeo de Anclajes</i>	82
4.5.4.	<i>Refuerzos con Fibras de Acero Inoxidable</i>	82
4.6.	<i>Procedimiento de Instalación del Concreto Refractario</i>	83
4.6.1.	<i>Preparación superficial</i>	83
4.6.2.	<i>Preparación del Concreto Refractario (KAOLITE 2500 LI)</i>	83
4.6.3.	<i>Mezclado</i>	84
4.6.4.	<i>Fraguado</i>	84
4.6.5.	<i>Curado</i>	85
4.6.6.	<i>Resane</i>	85
4.6.7.	<i>Secado</i>	86
4.6.7.1.	<i>Secado Natural</i>	86
4.6.7.2.	<i>Secado por Calentamiento</i>	87
4.7.	<i>Procedimiento de ejecución del Lavado Químico</i>	89
4.8.	<i>Procedimiento de ejecución del Grafitado Exterior de los Tubos</i>	91
CAPITULO V		
PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO		92
5.1.	<i>Descripción de las actividades</i>	92
5.1.1.	<i>Trabajos preliminares</i>	92

5.1.1.1.	<i>Instalación de platos ciegos</i>	92
5.1.1.2.	<i>Retiro de tapas del horno y apertura de puertas de las caja de cabezales</i> ...	92
5.1.1.3.	<i>Limpieza y vaporizado del horno</i>	93
5.1.1.4.	<i>Retiro de Líneas de Alimentación a Quemadores</i>	93
5.1.1.5.	<i>Instalación y retiro de andamios</i>	93
5.1.1.6.	<i>Retiro d e sopladores de hollín.</i>	94
5.1.1.7.	<i>Desacoplar las líneas de entrada y salida de crudo y vapor a la convectiva.</i>	94
5.1.2.	<i>Trabajos de desmontaje de chimenea y zona convectiva del horno</i>	94
5.1.2.1.	<i>Desmontaje de chimenea</i>	94
5.1.2.2.	<i>Desmontaje de la Convectiva</i>	95
5.1.2.3.	<i>Instalación de empaque de Dilatación</i>	96
5.1.2.4.	<i>Montaje de la Nueva Zona Convectiva</i>	96
5.1.2.5.	<i>Juntas de dilatación de las paredes de la zona convectiva.</i>	96
5.1.2.6.	<i>Montaje de la chimenea</i>	96
5.1.3.	<i>Trabajos de reparación</i>	97
5.1.3.1.	<i>Instalación de anclajes</i>	97
5.1.3.2.	<i>Preparación de Mezcla Refractaria y Resane de imperfecciones</i>	97
5.1.4.	<i>Trabajos de limpieza de la zona radiante</i>	97
5.1.4.1.	<i>Limpieza mecánica manual</i>	97
5.1.4.2.	<i>Lavado Químico Exterior de los tubos de la zona radiante.</i>	97
5.1.4.3.	<i>Grafitado Exterior de los tubos de la zona radiante</i>	98
5.2.	<i>Asignación de Recursos Materiales</i>	98
5.3.	<i>Asignación de Mano de Obra</i>	102
5.4.	<i>Listado de Equipos</i>	103
5.5.	<i>Cronograma de ejecución</i>	103
 CAPITULO VI		
	COSTO DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	106
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	112
	BIBLIOGRAFÍA	114

PRÓLOGO

El presente informe se refiere al Planeamiento y Programación de las actividades del mantenimiento del Horno de Calentamiento de crudo de 10 000 barriles diarios considerado como un equipo crítico por las condiciones de operación y catalogado entre los equipos de mayor importancia en los procesos de Refinación de Petróleo.

En el Capítulo 1 se detallan los Objetivos que se persiguen desde el punto de vista de la Planificación para ejecutar un adecuado mantenimiento sin contratiempos y en forma eficiente; se menciona la importancia de las actividades previstas para este mantenimiento, se justifica la intervención del equipo durante la Parada General del año 2011 y se determina el alcance de este Planeamiento.

En el Capítulo 2 se hace una descripción general del empleo de los Hornos para Servicios de Refinación, tipos, fabricación y las fallas más comunes que nos ayudará a comprender la naturaleza de su funcionamiento y los problemas de mantenimiento que suelen presentarse.

En el Capítulo 3 se describe el estado actual del Horno 311-H1 de la Refinería Iquitos, el resultado de las inspecciones realizadas anteriormente y se determinan los principales problemas del mantenimiento.

En el Capítulo 4 se describen los trabajos de mantenimiento tradicionales que se efectúan normalmente y se realiza la propuesta del mantenimiento actual,

además se detallan los trabajos previos como la fabricación de la zona convectiva y adecuación de la chimenea y los procedimientos específicos para su ejecución.

En el Capítulo 5 se desarrollo la Planificación y Programación para la ejecución del Mantenimiento e Inspección, se describen las actividades a realizar, se define los Recursos Humanos, materiales y equipos a utilizar.

En el Capítulo 6 se estima el costo total aproximado considerando los costos de mano de obra, materiales, equipos, servicios a contratar y gastos generales.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

2.1. Generalidades

La empresa PETROPERÚ S.A. – OPERACIONES SELVA, tomando en consideración las evidencias obtenidas del análisis realizado por empresas especializadas conjuntamente con el personal del Área de Inspección en paradas anteriores, ejecutará un mantenimiento mayor al Horno de la Refinería de Iquitos durante la Próxima Inspección General programada para el año 2011 y tendrá como actividades principales el cambio de la sección superior de la chimenea y el reemplazo de una nueva Zona de Convección, la cual se fabricará íntegramente en las instalaciones de la misma Refinería bajo la supervisión del personal de PETROPERU S.A., tomando en cuenta las especificaciones del fabricante y las recomendaciones de las normas emitidas por Organismos Internacionales especializados en el rubro de la Industria del Petróleo y Servicios de Refinación.

Dentro de la programación de la Parada de Planta, el mantenimiento del Horno ha sido considerado como la ruta crítica que al final definirá el tiempo total de duración de ésta, por lo tanto, en la planificación se están considerando las precauciones necesarias para evitar tiempos muertos por eventos no previstos que ocasionarían una ampliación del tiempo proyectado generando un incremento en los costos de los servicios contratados para este fin e incrementando las pérdidas por los días de no producción.

Actualmente la industria del Petrolero en el Perú está en crecimiento teniendo como sustento el proyecto de Ampliación y Modernización de la Refinería de Talara, lo cual aumenta las posibilidades para el desarrollo industrial y económico del País. Este hecho abrirá las puertas a profesionales de diversas carreras y exigirá conocimientos actualizados y cada vez más específicos en este rubro. Por medio de la Elaboración del presente informe se deja como evidencia algunos de los trabajos que se ejecutan en la Industria del sector Hidrocarburos en nuestro país.

2.2. Objetivos

Planificar las actividades del mantenimiento integral del Horno de Calentamiento de Crudo perteneciente a la Unidad de Destilación Primaria de la Refinería de Iquitos que se realizará durante la Parada de Planta General programada para el mes de marzo del año 2011.

Documentar información valiosa obtenida de la experiencia adquirida a través de los años por los especialistas en el mantenimiento de este tipo de equipos y de la cual no existe mucha literatura, describir los métodos modernos de inspección que se suelen aplicar, y detallar los procedimientos específicos para la ejecución de las actividades más importantes que requieren una mayor atención.

2.3. Antecedentes

La Refinería Iquitos fue diseñada y construida por la firma española TECPLANT INGEST S.A., entrando en operación en Octubre del año 1982, con una capacidad operativa de 10 Mbls/Día. Desde el comienzo de su operación se ha tomado muy en serio la evaluación permanente de los equipos considerados

críticos como es el caso del Horno de calentamiento de crudo haciéndose inspecciones durante las Paradas de planta programadas y no programadas como se indica a continuación.

La primera Inspección General de la Planta se efectuó en octubre de **1983**, con carácter de garantía mecánica, no encontrándose daño alguno en ningún equipo. En abril de **1988** se efectuó una parada corta en la cual se determinó que el equipo más crítico a intervenir en la siguiente Inspección General sería el Horno de Calentamiento de Crudo 311-H1. En octubre del año **1988**, se efectuó la segunda Inspección General, las fallas encontradas fueron mínimas y de naturaleza moderada. La cuarta Inspección General de esta Unidad se efectuó en Septiembre de **1998**. Con el objeto prioritario de reemplazar parte del refractario de la zona convectiva del horno 311-H1 y, de levantar algunas observaciones efectuadas por OSINERG, se programó una parada corta en el año **2000**.

En Diciembre de **2001** se realizó otra parada corta, aprovechando la ejecución de la primera etapa de la interconexión del nuevo sistema eléctrico, en la cual se continuó con el monitoreo del estado mecánico de los tubos y del refractario del Horno. La quinta Inspección General de la Unidad se efectuó en Diciembre de **2004**, y se realizó el cambio integral del refractario de la zona radiante del horno 311-H-1 considerado como zona crítica.

En el Año **2007** se hizo un análisis termográfico de las paredes externas de la zona convectiva y chimenea del horno diagnosticándose un deterioro del material refractario que podría ocasionar problemas a futuro y que debía ser solucionado en la próxima Inspección General. En Julio del **2008**, se programó otra Parada corta, para reparación del Horno 311-H1 por presentar en la zona convectiva planchas con sobrecalentamiento excesivo, debido al deterioro del material refractario. La

reparación hecha fue parcial quedando zonas con sobrecalentamiento pero de menor gravedad y pendientes para su evaluación posterior.

En el mes de Mayo del año **2010** se realizó la más reciente Parada Corta, con la finalidad de realizar el análisis metalográfico y calibración de los tubos del serpentín de calentamiento de crudo evaluándose las condiciones en que se encontraban para determinar los problema existentes y las necesidad del mantenimiento que necesitaría el equipo en general. Esta información se está utilizando para el planeamiento del mantenimiento del Horno durante la sexta Inspección General programada para el año 2011.

2.4. Alcance

Este informe tratará acerca de la planificación, programación y descripción de las actividades para la ejecución del mantenimiento mecánico del Horno tales como la reparación, reemplazo, montaje, limpieza y pintado de las partes que lo conforman según corresponda, así como de los procedimientos de trabajo para las actividades especiales consideradas de mayor criticidad por el riesgo que implica poner en operación el equipo si se efectúan de manera inadecuada. No se incluyen las actividades concernientes a los trabajos de Electricidad e Instrumentación y solo se tratarán a manera referencial.

2.5. Justificación

Dado que las instalaciones de una Refinería de Petróleo están consideradas como un lugar de trabajo de alto riesgo, se debe prestar atención a los factores que evidencian una posible falla a futuro, hecho que podría tener consecuencias fatales. Por tal razón, los motivos principales para realizar la reparación oportuna del horno

son incrementar la seguridad del personal que labora en la planta y de las mismas instalaciones, mejorar la confiabilidad operativa del equipo reducir gastos de producción y consumo de combustible.

2.6. Limitaciones

Las actividades y procedimientos descritos son solo aplicables al tipo de calentadores a fuego directo cilíndricos verticales de un solo paso, con una sección de radiación provista de tubos lisos y una de convección provista de tubos de superficie extendida y de capacidad de carga promedio de 10 000 barriles diarios.

CAPÍTULO II

HORNOS EN REFINERÍAS

2.1. Introducción

En la mayor parte de las instalaciones petroquímicas, o de refinería, la aportación del calor necesario para el proceso se consigue mediante un horno de calentamiento directo, en el que las calorías producidas por la combustión se transmiten por radiación, conducción y convección al fluido a calentar que circula por un serpentín tubular o por un haz de tubos. A este tipo de aparatos se le da el nombre de hornos tubulares.

2.2. Empleo de los Hornos Tubulares en Refinerías de Petróleo

El uso de estos hornos es múltiple, pero cada caso precisa un estudio particular con el fin de obtener el horno más económico y mejor adaptado a las condiciones impuestas. Se pueden citar los siguientes ejemplos:

2.2.1. Calentamiento de un fluido sin cambios de fases

Este es el caso, por ejemplo, de los hornos de aceite caliente colocados en un circuito que alimenta varios intercambiadores, donde se realiza la transferencia de calor al proceso; también es el caso de los hornos de carga de las instalaciones donde se lleva al fluido a una temperatura

necesaria para obtener una reacción química que se produce en un recipiente exterior al horno llamado reactor, en presencia de un catalizador. Así mismo, se utiliza este procedimiento en el calentamiento intermedio de un fluido, en el transcurso de una reacción química sobre catalizador entre las diversas fases de reacción, para devolver la temperatura del producto a un nivel conveniente cuando la reacción es fuertemente endotérmica.

2.2.2. Calentamiento de un fluido con vaporización parcial

En estas condiciones opera la mayoría de las instalaciones de destilación (horno de carga u horno reboller del fondo de una columna). Los hornos de este tipo son los más numerosos y los que, en general, tienen una capacidad térmica más elevada.

2.2.3. Calentamiento de un fluido con reacción química

Este es el caso de los hornos de carga de las unidades de cracking o de reformado térmico. El producto se calienta hasta una temperatura de reacción, luego se mantiene a esta temperatura durante un cierto tiempo en una sección especial del haz llamada zona de “*soaking*” o de maduración, donde las calorías aportadas compensan las absorbidas en la reacción. En ciertos casos, cuando la reacción se realiza en presencia de un catalizador, este se puede colocar en los mismos tubos del horno.

2.3. Características generales de los hornos tubulares

Un horno tubular se concibe y se calcula para permitir la transferencia de una determinada cantidad de calor por hora a un fluido. El caudal y las

temperaturas a la entrada y a la salida se fijan previamente. Por tanto, hace falta hacer aparecer en el horno una cantidad suficiente de calor, a la temperatura requerida, para calentar el fluido, compensar las pérdidas y transmitir el calor al fluido en condiciones apropiadas para evitar su deterioro.

Al horno se le debe suministrar una cantidad suficiente de combustible. Deberá estar dotado de los quemadores necesarios los cuales se alimentarán de combustible y de aire. En la mayor parte de los hornos de las refinerías, la admisión del aire de combustión en el horno, se obtiene mediante la depresión que reina en el interior de él. Esta depresión la crea el tiro de la chimenea.

Las temperaturas obtenidas por los productos de la combustión son siempre muy elevadas. Se puede aumentarlas precalentando el aire de combustión mediante los humos que salen por la chimenea.

Los productos de la combustión ceden su calor a los tubos por radiación y convección; a través de las paredes el calor se transfiere por conducción; en el interior de los tubos es nuevamente la convección la que tiene lugar; finalmente, las pérdidas de calor a través de los muros se producen por conducción.

El fenómeno más importante que hay que tener en consideración es la radiación de los productos de la combustión. Sin embargo, la historia de los hornos tubulares nos muestra que, en un principio, este fenómeno fue depreciado. Los primeros hornos construidos fueron, prácticamente, hornos de convección. Este tipo de hornos (fig. 2.1 A), las primeras filas de tubos expuestas a la radiación de la llama absorbían el calor en una cuantía muy elevada, mientras que los tubos situados cerca de la chimenea solo absorbían muy poco. Si se retiraba la primera hilera, era la segunda quien se calentaba, y con la retirada de los tubos solo se conseguía agravar el problema. La verdadera solución, que es la que actualmente se utiliza en los hornos modernos, consiste en aumentar el número de tubos

expuestos a la radiación de la llama, a fin de limitar a un valor razonable la cantidad de calor absorbida por la unidad de superficie.

2.4. Rendimiento de un horno

Se define como rendimiento de un horno, la relación entre la cantidad de calor absorbido por el fluido a calentar y el generado en la combustión.

Una parte del calor no aprovechado, por lo general muy baja, se pierde a través de las paredes por la conducción. Las pérdidas más importantes son las debidas a los humos a través de la chimenea, que disipan a la atmósfera una cantidad elevada de calor ya que su temperatura es considerable.

Estas pérdidas por las chimeneas dependen de dos factores principales: el exceso de aire de combustión y la temperatura de los humos. Se puede actuar sobre el primer factor, mediante un oportuno control de la combustión; sin embargo, aún con quemadores bien diseñados, no se puede descender por debajo de un cierto límite sin riesgo de una combustión incompleta, cuyo principal inconveniente es la reducción de la cantidad de calor desarrollado por unidad de peso de combustible quemado, produciendo un efecto contrario al deseado, y la consiguiente formación de CO susceptible de combinarse con el oxígeno aún presente en los humos fuera de la cámara de combustión (fenómeno de la pos-combustión, que puede dañar al horno).

La temperatura de los humos que salen de la zona de radiación, para un exceso de aire dado, queda determinada por la carga térmica del horno, la superficie y la temperatura de los tubos. La colocación de una zona de convección formada por un haz de tubos colocados en la trayectoria de los humos hacia la chimenea permite recuperar una parte de su calor sensible.

La temperatura de los humos permanece superior a la temperatura de entrada de la carga en el horno, por lo tanto, se puede utilizar los humos para recalentar o calentar otro producto más frío, e incluso producir vapor de agua. Generalmente, en las refinerías, el fluido que entra en un horno se ha precalentado mediante un importante sistema de intercambiadores. El aumento de la temperatura de entrada a un horno disminuye su capacidad térmica, así como su rendimiento, de manera que se precisa un estudio completo de la instalación, incluyendo a la vez al horno e intercambiadores, para determinar definitivamente la economía obtenida de combustible. En ciertas instalaciones, como en las unidades de cracking, la temperatura de entrada de la carga en el horno es tal que una zona de convección que utilizará la carga entrando en el horno, tendría muy poca influencia sobre el rendimiento.

Otro procedimiento que permite mejorar el rendimiento de un horno consiste en colocar un precalentador de aire de combustión en un lugar de la zona de convección. Las calorías así recuperadas aumentan la cantidad de calor liberado en la combustión. Las superficies de intercambio de radiación y convección deben ser calculadas para permitir la absorción de esta cantidad de calor suplementaria. Esta inversión adicional sólo puede justificarse en los hornos de gran capacidad. El tiro de la chimenea disminuye con la temperatura de los humos; cuando el tiro se hace demasiado débil se precisa el uso de un ventilador, con un consumo de energía que debe tenerse en cuenta en el balance global. Otra razón, que limita la recuperación de calor de los humos, radica en que estos, por debajo de punto de rocío, dejan condensar ácidos susceptibles de provocar efectos corrosivos nocivos.

2.5. Descripción de los diferentes tipos de hornos

Los hornos se caracterizan por la forma de la cámara de combustión y disposición de la zona de convección, cuando existe.

Los hornos se pueden clasificar en dos grandes categorías de acuerdo a la configuración de tubos de la zona de radiación: en posición horizontal y en posición vertical.

En los hornos con tubos horizontales, se distinguen, aquellos cuya cámara de combustión tiene una sección casi cuadrada, que son los más clásicos. En estos hornos, los quemadores se montan en general en las paredes laterales del horno y dan una llama horizontal. La zona convectiva está colocada, muy por encima de la zona de radiación en los hornos de baja capacidad se ubican a su lado. Está separada de la zona de radiación por un muro de ladrillos refractarios llamado "altar". La chimenea es, en general, independiente del horno.

Otros hornos con tubos horizontales tienen una cámara de combustión cuya altura es aproximadamente 1,5 a 2,5 veces la anchura. Los tubos se colocan a lo largo de las paredes laterales y del techo del horno; los quemadores, situados en el suelo, dan su llama dirigida hacia lo alto. La zona de convección se construye inmediatamente sobre la cámara de combustión y la chimenea se erige directamente sobre el horno. En algunos casos, el haz tubular se coloca en el plano axial del horno, y los quemadores se sitúan horizontalmente en las paredes laterales.

Los hornos con tubos verticales son normalmente cilíndricos, y los tubos se colocan circunferencialmente a lo largo de la pared interior. Los quemadores verticales se disponen en el suelo del horno. La zona de convección, colocada sobre la cámara de combustión, está formada por tubos verticales directamente en la chimenea, o por tubos horizontales, en general muy cortos, situados al interior de

una cámara especial ubicada entre la cámara de combustión y la chimenea. Esta se monta directamente sobre el horno.

Los hornos cilíndricos verticales y los hornos de cabina presentan la ventaja de una ocupación reducida en el suelo debido a que generalmente el desmontaje de los tubos se hace por la parte superior con la ayuda de un aparejo colocado en un mono-carril circular situado en lo alto de la chimenea, por lo tanto no es necesario, prever un espacio libre para esta operación. Otra ventaja, común a los hornos con quemadores verticales, es que la cámara de combustión interviene en el tiro al nivel del suelo, lo que permite disminuir la altura de la chimenea, además de que el circuito del gas de combustión es directo de los quemadores a la chimenea. Las dimensiones de un horno quedan principalmente definidas por la longitud de los tubos. El número de tubos depende de la capacidad del horno y de la tasa de transferencia adoptada. Los hornos de grandes dimensiones tienen un haz tubular cuya longitud desarrollada total puede ser mayor de un kilómetro.

2.5.1. Hornos de convección (fig. 2.1. A)

Se menciona este tipo de horno solo por su interés histórico: Los primeros hornos tubulares construidos eran de este tipo. La capacidad de estos hornos es baja y los tubos de las hiladas inferiores están sometidos a recalentamientos perjudiciales.

2.5.2. Hornos clásicos (Box Heater) (fig. 2.1. B y fig. 2.1. C)

Las disposiciones de estos hornos son múltiples. La fig. 2.1 B presenta una muy clásica. Los golpes de fuego llegan a menudo sobre los tubos colocados a lo largo del muro del "altar". La fig. 2.1 C representa un horno de gran capacidad, que tiene varios haces colocados en el mismo horno; este tipo puede ser utilizado en

una unidad de destilación de gran capacidad, una de cuyas celdas puede servir para calentamiento del crudo para la destilación primaria, otra para destilación secundaria al vacío y las demás para la aportación de calorías al fondo de la columna (hornos "reboiler").

Estos hornos tienen una baja transferencia de radiación y son relativamente caros pues necesitan una chimenea de grandes dimensiones y la construcción de las bóvedas es costosa

2.5.3. Hornos de cabina.

Este tipo de horno es el más difundido. Se citarán los ejemplos de las fig. 2.1. D (lummus, Anderson) y fig. 2.1. E (U.O.P.).

Estos hornos se adaptan bien para las capacidades medias o importantes, pudiendo funcionar con una tasa de transferencia elevada y regular. Es preferible, en el caso de un muro central, quemar gas en él. El papel del muro es el de obtener regularidad en la tasa de transferencia.

2.5.4. Horno tipo SELAS (fig. 2.1. F)

Este tipo de horno se emplea en las instalaciones de cracking de gas a alta temperatura (unidad de etileno o de hidrógeno), que necesitan una elevada tasa de transferencia y numerosos quemadores.

2.5.5. Hornos cilíndricos verticales (fig. 2.1. G)

Este tipo de hornos puede utilizarse para todas las capacidades desde las menores a las más elevadas, y se adaptan tanto a la combustión del fuel como del gas. Su construcción es económica.

2.5.6. Horno Petrochem (fig. 2.1. H)

Es un horno cilíndrico vertical que puede equiparse de un cono de radiación suspendido en la base de la chimenea o de la zona de convección, en el caso en el que el fluido calentado exija una muy buena repartición de la tasa de transferencia. En este tipo de horno, la zona de convección se realiza corrientemente mediante un manguito circular que crea un espacio anular donde los humos circulan a velocidad elevada; los tubos se proveen de aletas o de agujas, que permiten obtener un coeficiente elevado de transmisión. A menudo, son los mismos tubos los que forman la zona de convección y la de radiación y la parte de los tubos situada a la derecha del manguito está provista de agujas (Horno de convección integrada).

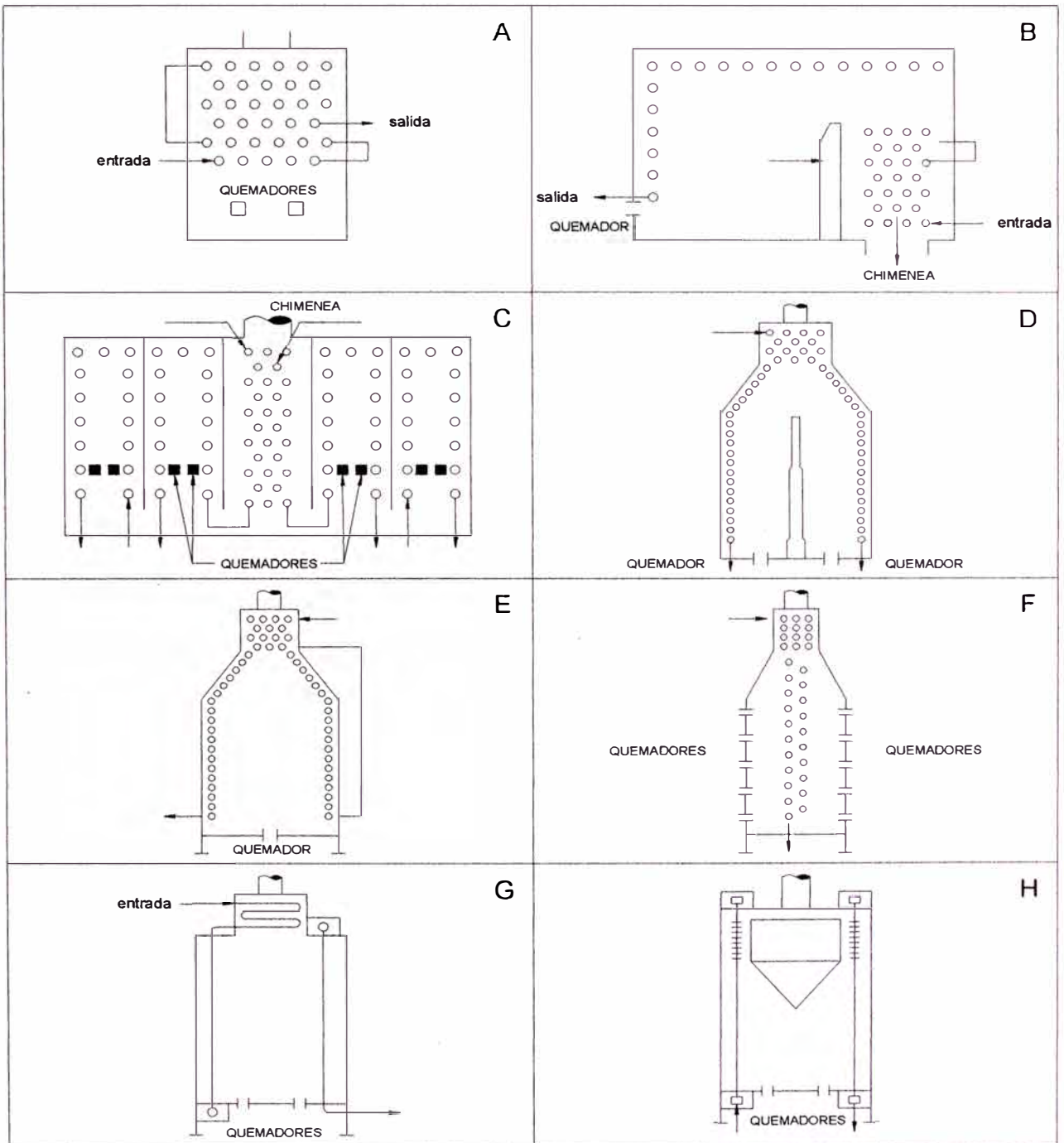


Fig. 2.1. Cortes Esquemáticos de los diferentes tipos de hornos.

2.6. Nomenclatura de los Calentadores

El tipo de calentador es normalmente descrito por la configuración estructural, configuración del serpentín de radiación o forma y arreglo de quemadores. Algunos ejemplos de configuraciones estructurales son cilíndricos, de caja, de cabina, de caja multi-celda. Ejemplos de configuraciones del serpentín son vertical, horizontal, helicoidal y árbol o póstigo. Ejemplos de arreglo de quemadores incluyen quemado en el techo, quemado en el piso, quemado en paredes frontales y laterales o multiniveles.

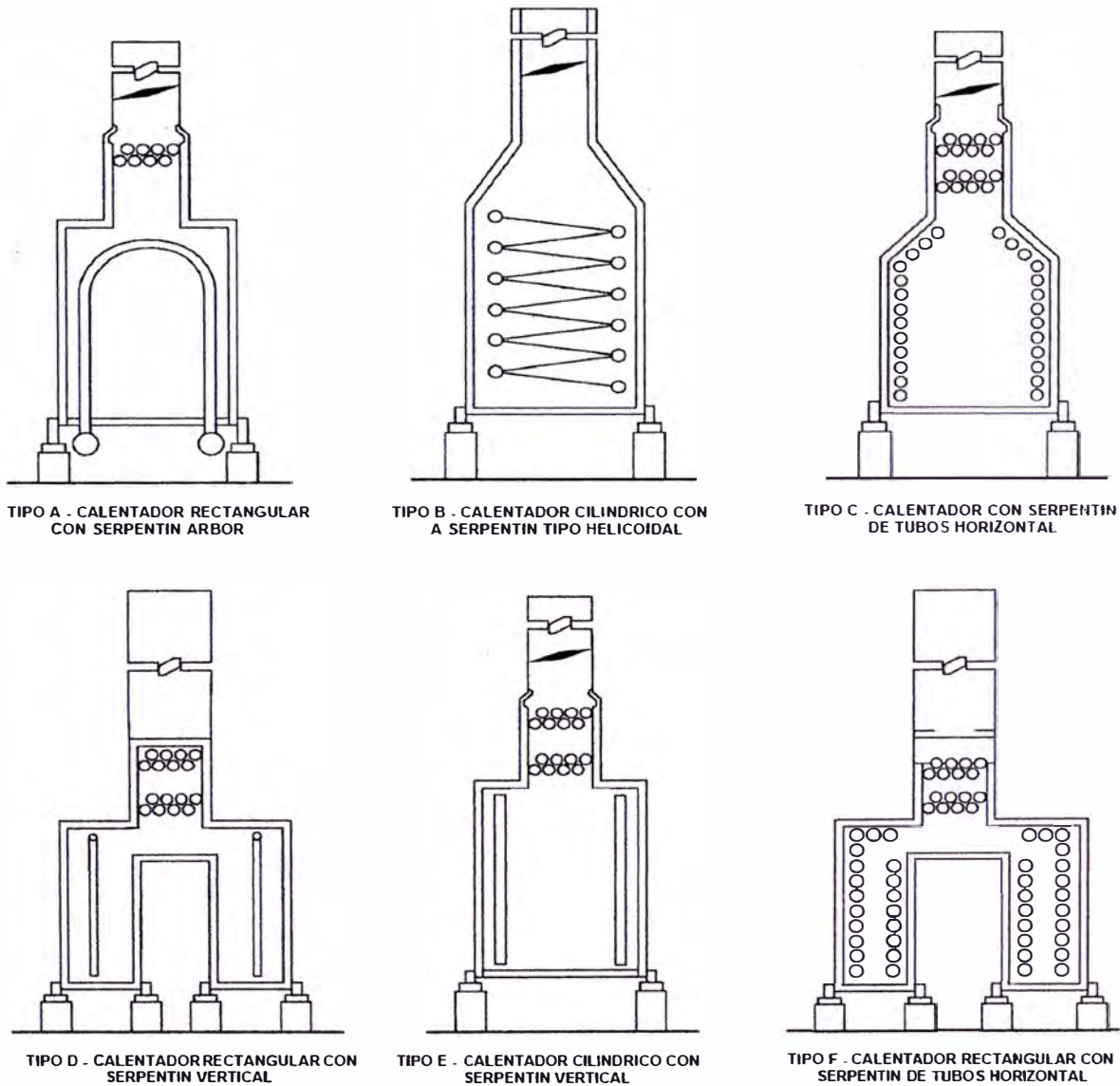
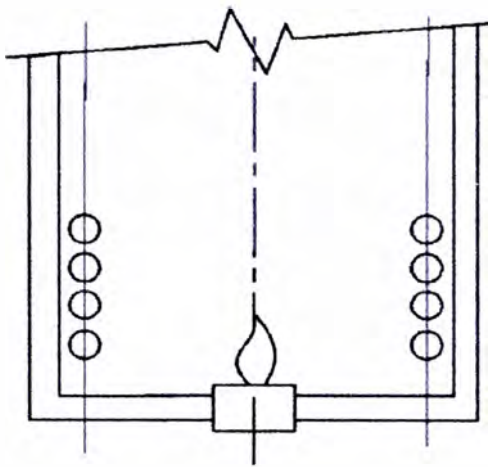
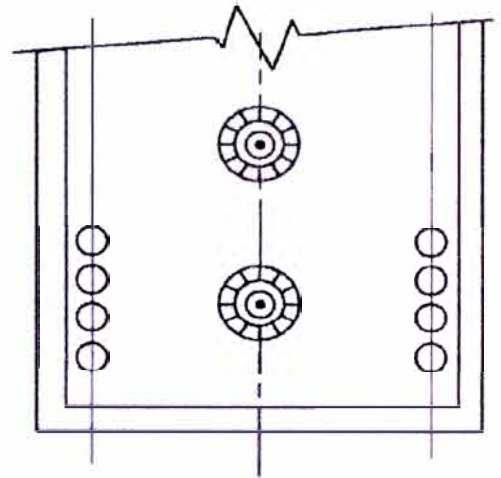


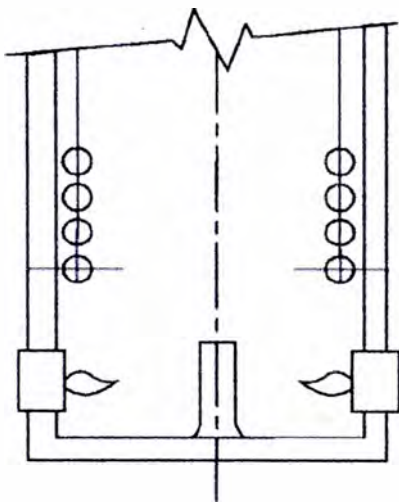
Fig. 2.2. Tipos de calentadores típicos.



TIPO A - QUEMADO ASCENDENTE



QUEMADO EN PARED FRONTAL



TIPO C - QUEMADO EN PARED LATERAL

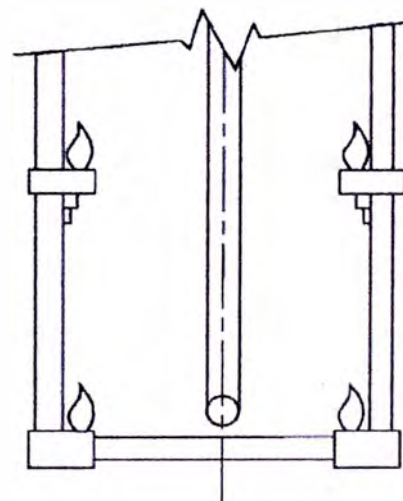
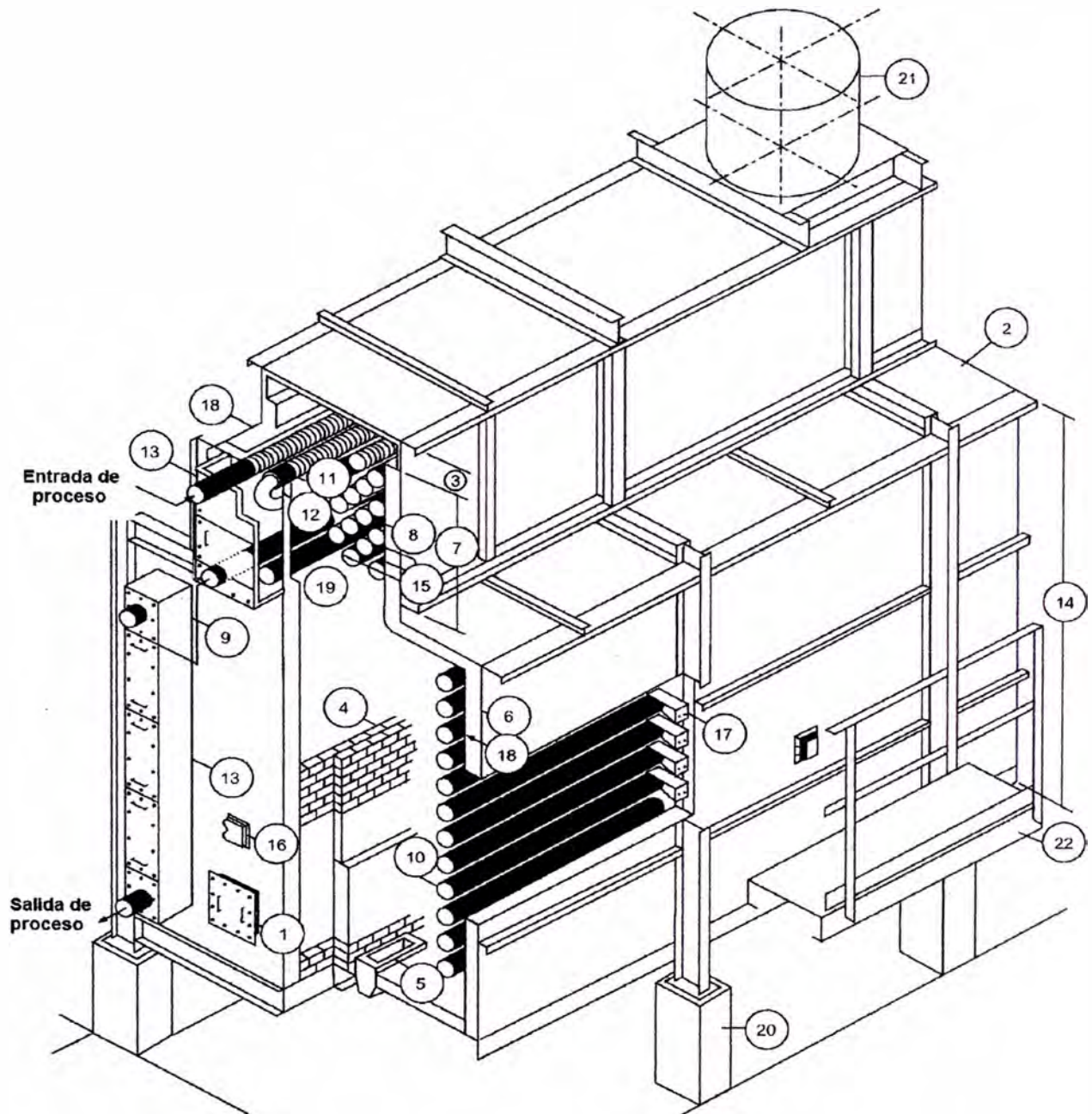
TIPO D - QUEMADO EN PARED LATERAL
MULTINIVEL

Fig. 2.3. Configuración de quemadores típicos (vista de elevación).



Notas:

- | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Puerta de acceso | 9. Tubería de enlace | 17. Soporte de tubo |
| 2. Techo | 10. Tubos | 18. Recubrimiento refractario |
| 3. Conducto de gases | 11. Superficie extendida | 19. Placa porta tubos |
| 4. Pared divisoria | 12. Retorno | 20. Pilar |
| 5. Quemador | 13. Caja de cabezales | 21. Chimenea/ducto |
| 6. Envoltorio | 14. Zona radiante | 22. Plataforma |
| 7. Zona convectiva | 15. Sección escudo | |
| 8. Deflector de gases | 16. Puerta de observación | |

Fig. 2.4. Componentes de un calentador a fuego directo.

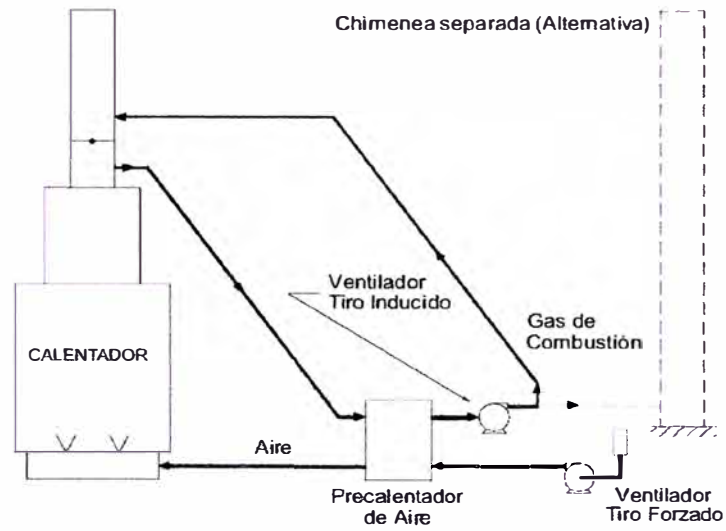


Fig. 2.5. Sistema precalentador de aire usando unidad de intercambiador de calor regenerativo/recuperativo.

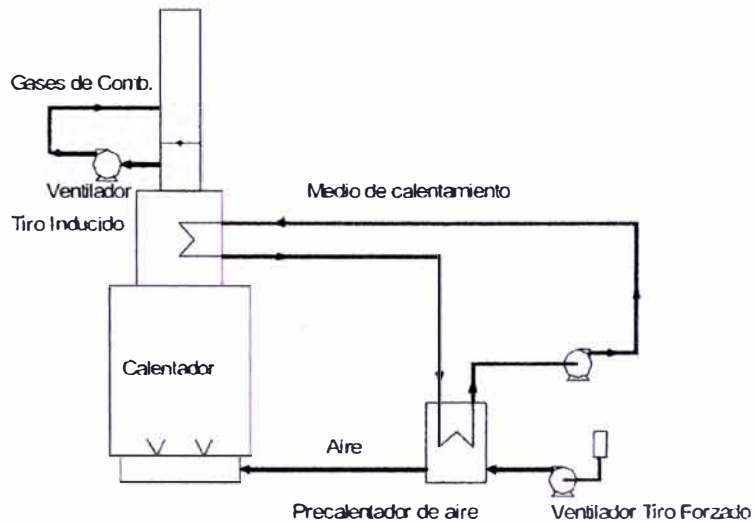


Fig. 2.6. Sistema usando un precalentamiento de aire indirecto cerrado con circulación mecánica.

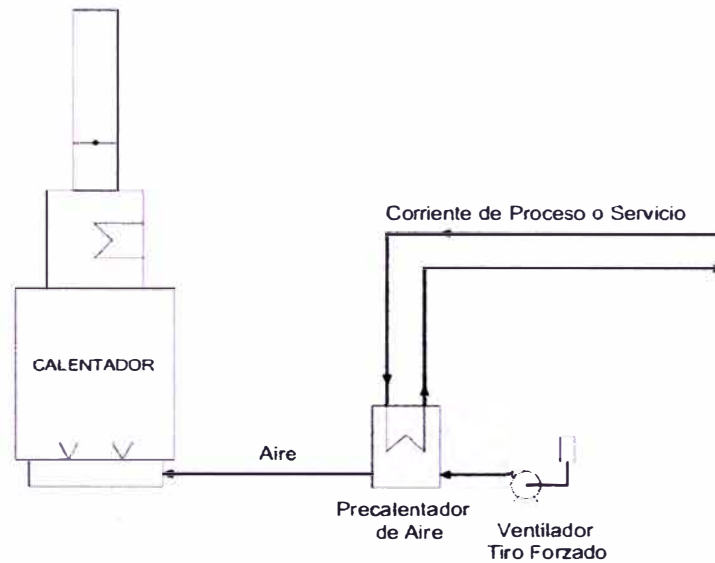


Fig. 2.7. Fuente de calentamiento externo para precalentamiento de aire.

2.7. Descripción y construcción de hornos de refinerías

2.7.1. Descripción general de la estructura de un horno

Un horno tubular está formado por una envoltura metálica, de forma diversa, comúnmente en forma de paralelepípedo o cilíndrica.

El horno se compone de una zona, llamada de radiación, en la que los tubos están expuestos directamente a la llama y reciben el calor de los productos de la combustión por radiación. Esta zona es realmente la cámara de combustión donde se desarrolla la llama. Los tubos se colocan, generalmente, delante de las paredes de esta zona, la mayoría de las veces en una fila; en algunos casos en dos.

Si existe la zona de convección, esta se instala a la salida de los humos de la cámara de combustión. Está formada por un haz de tubos colocados al tresbolillo, perpendicular o paralelamente a la dirección de los humos. En ambos casos, se procura obtener una velocidad elevada de los humos a fin de obtener un elevado coeficiente de transmisión.

Los tubos colocados en la zona de convección en algunos casos tienen la superficie exterior en contacto con los humos recubierta de aletas radiales o longitudinales o de agujas (studs), que aumentan considerablemente la superficie de intercambio.

La envoltura metálica del horno debe ser lo suficientemente fuerte para resistir las acciones del viento y soportar el conjunto del haz tubular. Está formada por un esqueleto de estructura principal y por chapas atornilladas o soldadas sobre dicho esqueleto. Como la cámara de combustión, en general, está a una presión inferior a la atmósfera debido al tiro de la chimenea, esta envoltura debe ser lo suficientemente estanca para evitar entradas parásitas de aire que tendrían un efecto perjudicial en el rendimiento del horno.

Las paredes interiores del horno, particularmente las de la cámara de combustión, se protegen contra los efectos de la temperatura mediante un recubrimiento refractario y aislante que tiene por objeto reducir las pérdidas caloríficas al exterior en adición a la protección de la chapa metálica.

El fondo de la zona de combustión constituye el suelo del horno y también está recubierto de una capa de productos refractarios y aislantes.

Las paredes verticales (o el suelo en los hornos verticales), están provistas de orificios en los que se colocan los quemadores. Un cierto número de mirillas permite observar la combustión, la forma de las llamas y la estabilidad de los tubos. En las paredes también están colocadas las ventanas de explosión del horno. Estas ventanas y mirillas deben quedar herméticamente cerradas cuando el horno está en servicio.

Finalmente, los humos salen del horno a través de la chimenea, o en su caso, por el precalentador de aire. La chimenea tiene forma cilíndrica y

puede estar situada directamente sobre el horno o sobre una fundación separada. El conducto que conduce los humos a la base de la chimenea se llama canal de humos. El papel de la chimenea es múltiple; su primera función es conducir los humos a la atmósfera a una altura tal, que no ocasione el menor riesgo de contaminar su vecindad; esto es importante particularmente en las instalaciones muy apretadas donde las chimeneas de los hornos deben ser más elevadas que las columnas más próximas. La chimenea debido a su tiro coloca la cámara de combustión en depresión, provocando de esta manera la entrada del aire necesario para la combustión a través de las aberturas de aire de los quemadores. Sus dimensiones, altura y diámetro deben ser calculadas para obtener este tiro.

La chimenea comúnmente está protegida interiormente, al menos en su parte inferior donde los humos están muy calientes, mediante una capa de refractario que permite construir la chimenea en acero ordinario. Cuando la chimenea es de gran altura algunas veces se construye, de hormigón. A menudo en su base se encuentra un registro llamado dámper que permite regular el tiro. Este registro debe construirse en un acero resistente a la temperatura de los humos.

2.7.2. Tubos y accesorios del haz tubular

Salvo en los casos de ciertos hornos cilíndricos verticales, donde se utiliza un serpentín helicoidal, el haz tubular generalmente está formado por tubos de acero recto colocados paralelamente unos a otros. El paso de un tubo a otro se consigue mediante un codo de 180° soldado, o mediante un aparato especial llamado "*cabezal de retomo*" o *H-bend* que generalmente son expandidos en la unión con los tubos.

Los codos se forjan a partir de un elemento de tubo o bien se fabrican por moldeado. Su diámetro interior corresponde al diámetro interior del tubo. En los hornos con tubos verticales algunas veces se utilizan los cabezales o H - bends antes citados y que están provistos de un tapón removible para efectuar la limpieza del interior de los tubos.

La caja de retorno es una pieza de acero moldeado que permite la unión de los tubos que son introducidos en orificios previstos para este efecto y expandidos con la ayuda de un mandril. Los orificios pueden estar dotados de ranuras que permiten obtener una mayor estanqueidad. La caja está equipada de tapones colocados exactamente en el eje de los tubos permitiendo la limpieza interior de ellos sin tener que desmontarlos. Cuando debido a la rotura de un tubo este debe ser retirado, es suficiente, después de haber cortado el tubo deteriorado y desgastar la parte mandrilada, introducir un tubo nuevo y mandrilarlo a continuación. Para este caso se debe utilizar un tubo calibrado en toda su longitud.

Las cajas utilizadas para la entrada y salida de los productos tienen una brida de unión para las tuberías que conducen el fluido. En algunos casos se utiliza cajas especiales que pueden recibir tres tubos o más; de esta manera se consigue tener varios tubos en paralelo en el circuito del fluido.

La naturaleza del material utilizado en la fabricación de los tubos y de sus accesorios depende de las condiciones de la temperatura y de la naturaleza corrosiva del fluido a calentar.

El metal caliente debe tener características mecánicas suficientes. Se sabe que la resistencia mecánica del acero disminuye cuando la temperatura aumenta y el metal presenta un fenómeno conocido bajo el

nombre de fluencia. Bajo la acción de una tracción en caliente, una probeta de metal se alarga de manera no elástica y termina por romperse. Existen curvas que dan, para cada metal, las cargas que provocan un alargamiento relativo dado o la rotura en un tiempo determinado. Se considera en general como fatiga de trabajo admisible la que provoca una fluencia del 1% en 10 000 horas o la que provoca la rotura en 100 000 horas, a la temperatura de empleo de los tubos.

Otro factor que determina la elección de la calidad de un acero es la corrosión. Esta se debe a la oxidación de la superficie del tubo por los humos calientes y a la corrosión que puede provocar el fluido caliente por los componentes de los gases de combustión tales como el azufre, vanadio, etc. En los casos de fluidos corrosivos la elección del metal viene impuesta por el tipo de corrosión a prever.

En el caso de un fluido no corrosivo se utilizan los tubos y accesorios (codos y cajas) de acero al carbono a temperaturas relativamente poco elevadas (400° C) y de acero al carbono con la adición de un porcentaje de molibdeno (que mejora la resistencia mecánica en caliente) hasta 450° C. Por encima de los 450° C se utilizan los aceros llamados refractarios, es decir, aquellos que tienen elevadas propiedades mecánicas en caliente y a la vez una buena resistencia a la oxidación como los aceros al cromo molibdeno:

El acero con 5% de cromo presenta muy buena resistencia a la oxidación en presencia de humos sulfurosos a una temperatura de 700 a 750° C. A más alta temperatura se hace necesario el empleo de aceros inoxidables (18% de Cr, 8% Ni con o sin molibdeno) a menudo estabilizados para evitar el tratamiento térmico posterior a la soldadura. Por encima de

870° C, es necesario utilizar aceros todavía más aleados (25% Cr, 12% Ni, ó 25% Cr. 20% Ni) o metales que no contienen hierro como el Inconel (aleación de Níquel y Cromo). No es raro que un haz tubular se forme con tubos de diversas calidades, aumentando su aleación hasta el extremo del circuito donde la temperatura es más elevada.

Los soportes de los tubos y las placas tubulares también están sometidos a temperaturas muy altas, superiores incluso a las de los tubos ya que estas piezas no están refrigeradas como si lo están los tubos por la circulación del fluido. Estos elementos se construyen en fundición o en acero refractario.

2.7.3. Materiales refractarios aislantes

El revestimiento de las paredes interiores de un horno puede hacerse mediante un muro de ladrillo refractario o con una capa de hormigón refractario.

Los productos refractarios utilizados en los hornos de las refinerías están generalmente formados por arcillas o por tierra de diatomeas. Estos productos que unen sus cualidades refractarias con una baja conductividad calorífica son a la vez aislantes.

Los hormigones se forman mediante un aglomerante hidráulico (generalmente cemento fundido) al que se le añaden proporciones variables según las condiciones de utilización de productos tales como granulado de diatomeas y de vermiculita. Después del secado se tiene, por evaporación del agua, un hormigón de baja densidad que resiste bien las temperaturas del orden de 1000 – 1200° y cuya conductibilidad térmica es del orden de 0,25 kcal.m⁻¹.h⁻¹ (°C). Los hormigones se aplican con pistola neumática

sobre las paredes del horno, donde son mantenidos en su lugar mediante una tela metálica colocada sobre agujas soldadas en la pared interior del horno.

En general, los ladrillos refractarios son rectangulares (220 x 110 x 65 mm) pero se utilizan también piezas moldeadas o cortadas de los ladrillos estándar para el montaje de muros cilíndricos o de bóvedas. Los ladrillos de los muros se unen entre ellos mediante un cemento refractario especial.

La bóveda (o techo de los hornos) se construye con ladrillos de forma especial, suspendidos por ganchos de acero o fundición unidos a una serie de perfiles de acero apoyados en las paredes verticales del horno. Los ladrillos presentan un resalte en una parte de su espesor, que viene a descansar sobre el resalte correspondiente de la parte inferior del ladrillo próximo.

Cuando la temperatura de la cámara de construcción es muy elevada, las paredes refractarias se forman con varias capas de ladrillos. Se coloca entre el último ladrillo y la pared metálica del horno un manto aislante (lana de vidrio o mineral) que permite reducir las pérdidas caloríficas.

2.7.4. Quemadores

Los quemadores tienen por finalidad provocar la mezcla íntima del aire y del combustible para obtener la combustión completa del mismo. El aire de combustión se introduce a través de las entradas de aire regulables, forzado la mayor parte de las veces por la depresión que reina en el horno. El combustible, gas o aceite, desemboca en la corriente de aire en el centro de un anillo refractario que asegura la estabilidad de la llama debido al calor que irradia.

Un quemador se concibe para quemar gas, o aceite. Ciertos quemadores se equipan para quemar uno u otro combustible.

Los quemadores de gas son de dos tipos: de premezcla (quemadores con aire primarios) o sin premezcla. En los quemadores de premezcla, una parte del aire de combustión se mezcla con el combustible antes de que éste desemboque en el extremo del quemador. Esta premezcla permite obtener una combustión más rápida, pero este tipo de quemador no puede ser utilizado con gases en los que la velocidad de propagación de la llama es elevada (gas rico en hidrógeno). Los quemadores sin premezcla generan una llama de difusión porque el aire de combustión entra en el horno paralelamente al chorro de gas, difundiéndose lentamente en él. Dan una llama más larga y más luminosa que los de premezcla.

Para obtener la combustión del aceite, hace falta que se encuentre finamente pulverizado en la corriente de aire de combustión. Esta pulverización se obtiene con la ayuda de vapor de agua o bien mecánicamente. En los quemadores con pulverización de vapor, el aceite combustible y el vapor se mezclan en una cámara y salen por el orificio del quemador con el aspecto de una niebla compuesta de partículas muy pequeñas. Aproximadamente, el consumo de vapor es el 35% del peso de combustible.

En los quemadores con pulverización mecánica, el aceite llega a alta presión al extremo del quemador donde es pulverizado por la expansión en el orificio de salida.

Los quemadores con pulverización de vapor tienen una mayor elasticidad de funcionamiento que los de pulverización mecánica. En el caso

de una modificación importante del régimen de marcha, es necesario cambiar el orificio para obtener una pulverización correcta.

El aceite se debe calentar antes de llegar a los quemadores a una temperatura tal que su viscosidad sea lo suficientemente baja (del orden de 3 a 5 grados Engler). Por otro lado, el vapor de pulverización debe ser ligeramente recalentado para estar completamente seco.

2.8. Control y marcha de los hornos

La mayor parte de los hornos de refinerías se equipan con una regulación automática de la temperatura de salida del fluido calentado, y el caudal de combustible está gobernado por esta temperatura. Como todas las instalaciones tienen un control automático preciso, las variaciones de temperatura de salida son pequeñas y no es necesario prever una regulación automática de la combustión ni del exceso de aire. Además, en el caso de una variación grande del caudal de combustible es necesario proceder a un reglaje manual del exceso de aire.

Un punto importante a considerar es la necesidad de parar los quemadores en el caso de cese de la circulación en los tubos. En efecto, si el caudal del fluido a calentar se hace nulo, sin que la alimentación de los quemadores se corte, los tubos corren el riesgo de ser sobrecalentados muy rápidamente, pues ya no son refrigerados por la circulación del fluido, y este sobrecalentamiento puede ocasionar destrozos importantes. Por lo tanto, hace falta prever una alarma de mínimo caudal en el fluido a calentar y, eventualmente, un sistema que corte la llegada de combustible a los quemadores.

La combustión debe ser objeto de una vigilancia continua, en particular, en lo que concierne a la temperatura de los humos, la depresión en el hogar y la forma de las llamas. Todo valor excesivo de la temperatura de los humos, así como la

subida de presión en el interior del horno, puede producir daños perjudiciales al funcionamiento o la vida del horno. Las llamas deben ser vigorosas sin chisporroteo. No deben jamás lamer a los tubos.

Los hornos deben ser objetos de inspecciones regulares al estado del refractario y de los tubos incluyendo la medición de temperatura en la piel del tubo mediante termocuplas soldadas alrededor del tubo, debiendo ser reparada o reemplazada toda parte defectuosa en breve plazo.

2.9. Reemplazo de tubos del Horno

El momento de reentubado del horno puede ser crítico para la reducción de costos de equipos y el mantenimiento de la productividad. Consistentemente, reemplazar los tubos del calentador de forma prematura, puede representar un gasto innecesario de capital a una refinería de tamaño medio de hasta un millón de dólares por año o más.

2.9.1. Predicción de la vida restante de un tubo

La predicción de la vida restante del tubo no es una tarea fácil. Si bien se disponen de ecuaciones que pueden dar un primer intento de aproximación, se deben superar muchas dificultades si se quiere lograr una estimación real de la vida útil restante. El estimado de la vida máxima del tubo requiere de un esfuerzo coordinado que incluye la inspección visual frecuente e inspección infrarroja (fig.2.8) de los patrones de llama; así como, la detección de la acumulación de coque, y mediciones de espesor de pared con su correspondiente historial.

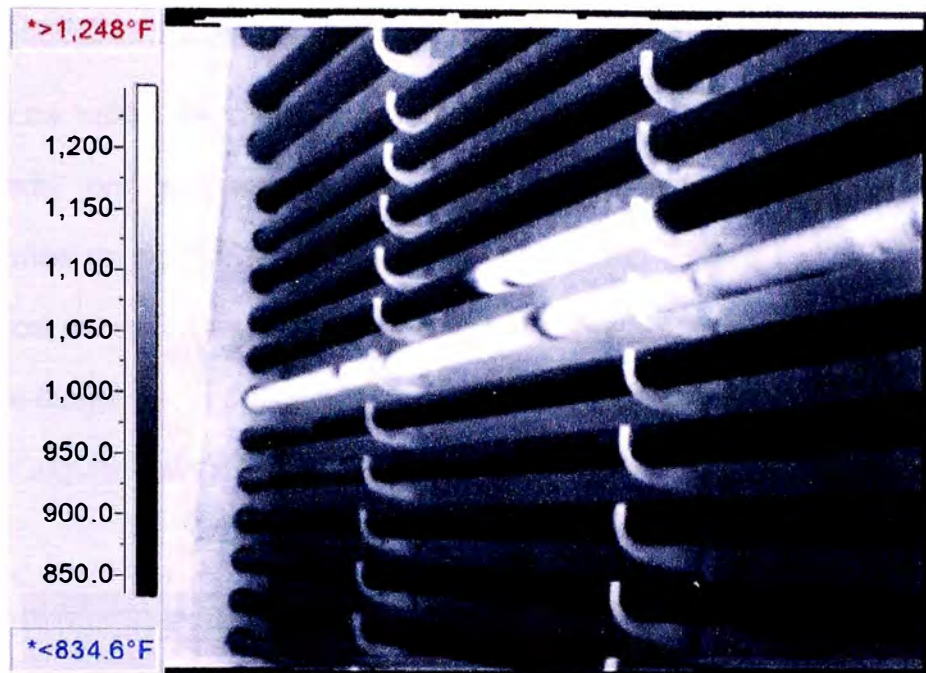


Fig. 2.8. Termografía infrarroja que identifica los posibles fallos debido a la suciedad interna de los tubos.

Una evaluación precisa de la vida del tubo restante requiere de una evaluación completa de todas las pruebas disponibles, incluyendo la tensión diametral, dureza del tubo, y la condición de la microestructura del tubo. La vida del tubo se puede acortar por la incidencia de la llama, la acumulación de coque, o las altas tasas de corrosión a corto plazo.

Todos los tubos de calentamiento deben ser inspeccionados, preferiblemente en su vida temprana, para establecer condiciones como línea base para el diámetro del tubo, espesor de la pared, la microestructura del metal y su dureza, ya que servirá como medio de comparación en inspecciones futuras.

2.9.2. Criterios de sustitución de los tubos

Los tubos de los calentadores a fuego directo tienen una vida finita gobernada por el material del tubo, el ambiente del proceso, y las condiciones de operación del tubo (principalmente la temperatura y presión). Los tubos de un calentador en servicio de refinación pueden haber fallado como se ilustra en la figura 2.9., y si no son reemplazados a tiempo podrían producir alguna falla a futuro.

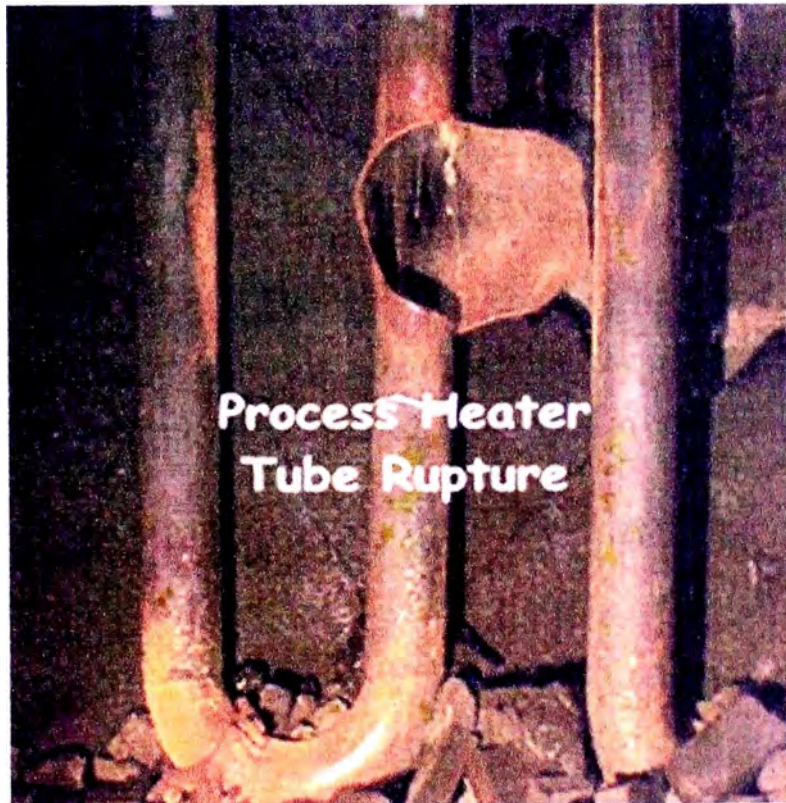


Fig. 2.9. Fallo del tubo de un calentador por exceder el límite de seguridad de su desempeño.

Cuanto más tiempo ha estado en servicio un tubo, mayor es el riesgo de falla. Los tubos por lo general fallan por fluencia y corrosión o una combinación de los dos.

En la figura 2.10., el hinchamiento del tubo es evidencia de la deformación por las altas temperaturas a la que estado sometido. El espesor nominal del tubo disminuye críticamente tal como se aprecia en la figura 2.11, al mismo tiempo que se acumula el coque en su interior, poniendo en riesgo la integridad física del equipo. Otros modos de falla son posibles, tales como el ensuciamiento del metales, la erosión y corrosión, así como las interacciones entre los modos de fallo. Las Tensiones térmicas son insignificantes para la mayoría de los tubos de calentamiento, pero debe tenerse en cuenta para los tubos de pared gruesa. Las reacciones del medio ambiente tales como la carburación, o reacciones metalúrgicas, tales como la formación de fase sigma en aceros inoxidables, pueden volver frágiles a los tubos y reducir la resistencia a la fluencia y resistencia a la fractura muy por debajo de los valores de diseño. A pesar de las varias formas en que los tubos pueden fallar, muchos de ellos se sustituyen sobre la base de la corrosión de manera significativa antes de llegar al espesor de reemplazo de tubo recomendado por la API 530.

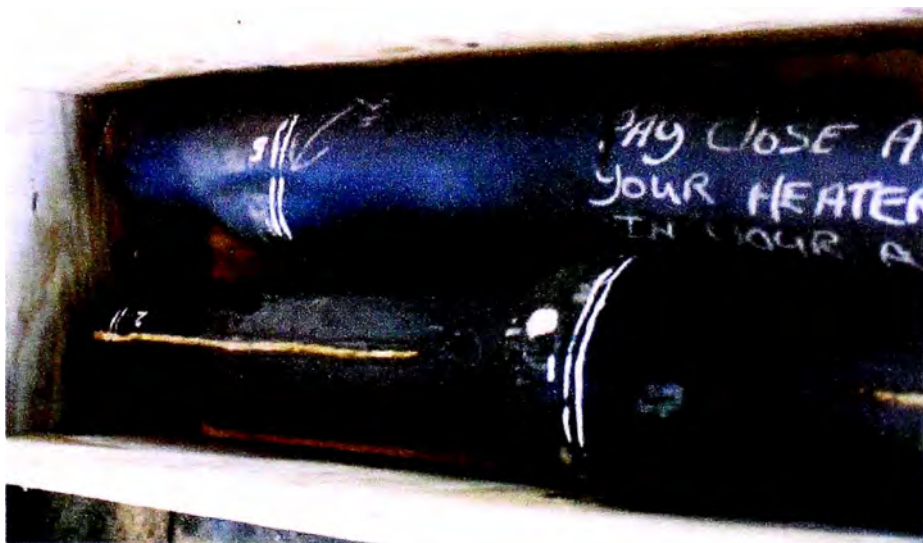


Fig. 2.10. Tubos hinchados por carga térmica.



Fig. 2.11. Incremento del diámetro y disminución del espesor de las paredes en los tubos hinchados por efecto del creep.

2.9.3. Métodos de Inspección de Calentadores

La inspección debe consistir en medidas diametrales para determinar el esfuerzo de deformación acumulado, metalografía de campo para evaluar el progreso de envejecimiento térmico, reacciones metalúrgicas potenciales y medidas de dureza. La inspección de este último es importante puesto que los tubos se ablandan con la exposición prolongada a temperaturas en el rango de deformación. La metalografía in situ y la réplica debe ser ejecutada en la superficie exterior de los tubos del calentador para establecer el grado de envejecimiento térmico, verificar el tratamiento térmico, y para la confirmación general de las condiciones del material (inclusiones excesivas, tamaño de grano aceptable, etc.), y lo más importante, para determinar si se están llevando a cabo las reacciones metalúrgicas.

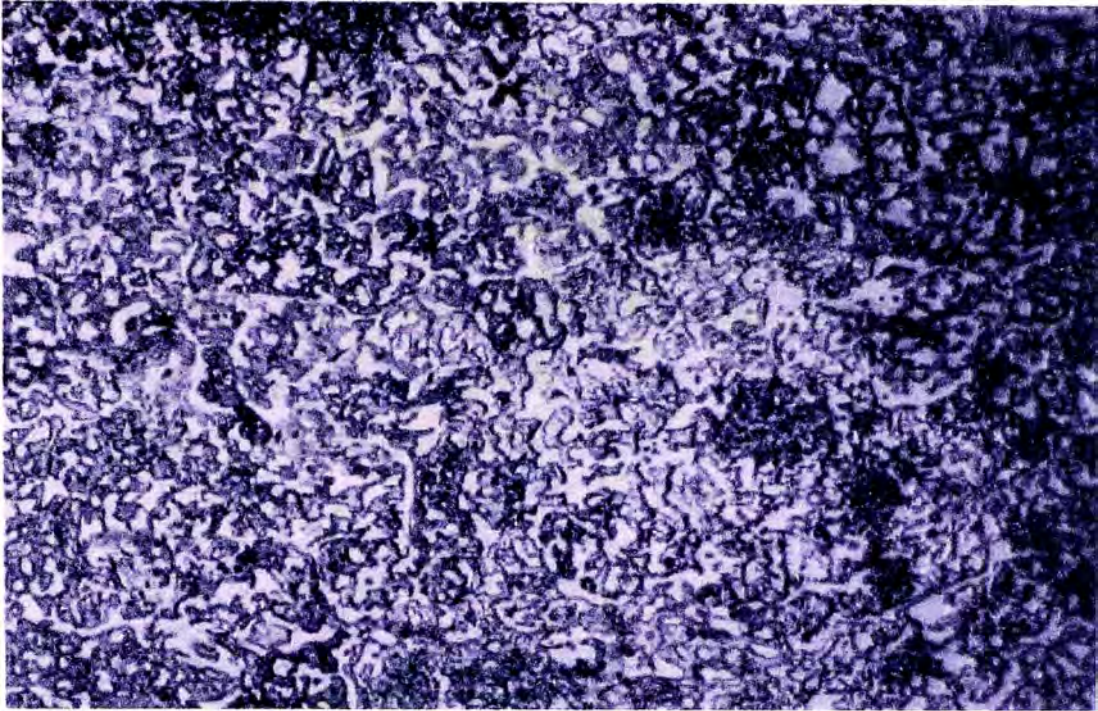


Fig. 2.12. Microestructura típica cerca a la perforación de un tubo colapsado (aumento de 500x). Se detectó carburación a través de la pared del tubo.

2.9.4. Pruebas de ruptura con aceleración del creep

El propósito de la extracción del tubo es para proporcionar una muestra para hacer una prueba de rotura por deformación térmica o para determinar el esfuerzo de deformación real del material. La prueba puede ser acelerada mediante la selección de una temperatura de ensayo más alta que la temperatura de operación a fin de garantizar que la prueba se complete en forma oportuna. El valor de conocer el esfuerzo de deformación real del material es que la evaluación de la vida del tubo no tiene que basarse en un límite inferior de este. La vida de los tubos en un serpentín dado se puede determinar de manera más realista. El aumento de la vida útil estimada en base al esfuerzo de deformación térmico (límite inferior) y la vida en base al esfuerzo de deformación real puede ser hasta de 7 a 12 años más cuando el esfuerzo de deformación real se conoce. En otras

palabras, el conocimiento de la resistencia a la fluencia real da una mayor confianza de que los tubos pueden permanecer en servicio durante más tiempo. El costo de las pruebas de ruptura es insignificante en comparación con el costo de reentubado del horno. En consecuencia el ensayo de rotura por deformación es particularmente útil cuando las mediciones de las temperaturas y presiones anteriores del tubo no se conocen o cuando ha habido periodos cortos o largos de sobrecalentamiento.

CAPITULO III

ESTADO DEL HORNO DE CALENTAMIENTO DE CRUDO 311-H1

3.1. Descripción del Horno 311-H1

Está diseñado para procesar una carga de crudo de 10 500 barriles por día y soportar crudos con un grado API normalmente entre 22 – 38.

Es del tipo cilíndrico vertical, de un solo paso (una sola corriente interior) con una sección de radiación en donde se lleva a cabo la mayor parte de la transferencia de calor, una de convección en donde la transferencia de calor se realiza por radiación no luminosa y por convección y un haz tubular para el recalentamiento del vapor de "stripping". La sección de convección está provista de una combinación de tubos desnudos denominados escudos y de superficies extendidas.

Utiliza Fuel-oil como combustible de base y el aprovechamiento de pequeñas cantidades de Fuel-gas provenientes del tope de la torre de destilación atmosférica.

El crudo desalado es precalentado a su paso por un tren de intercambiadores de calor ingresando al horno con una temperatura de 250 °C. El crudo es calentado y parcialmente vaporizado por el serpentín de un solo paso tal como se muestra en la fig. 3.1. El flujo de crudo que entra al horno pasa primero por la zona de convección y luego a la zona de radiación. Tiene 4 quemadores.

Al salir del horno, el crudo alcanza temperaturas de +/- 355 °C y se dirige hacia la zona flash de la columna de destilación (fraccionadora).

El horno tiene 6 seguridades y cualquiera de ellas al actuar produce Para de Horno.

- a) Bajo caudal de crudo al horno.
- b) Baja presión de fuel-oil a los quemadores del horno.
- c) Baja presión de vapor de atomización a quemadores del horno.
- d) Baja temperatura del fuel-oil a los quemadores.
- e) Alta temperatura del crudo o de los gases de combustión a la salida del horno.
- f) Alta temperatura de bóveda (cámara de combustión)

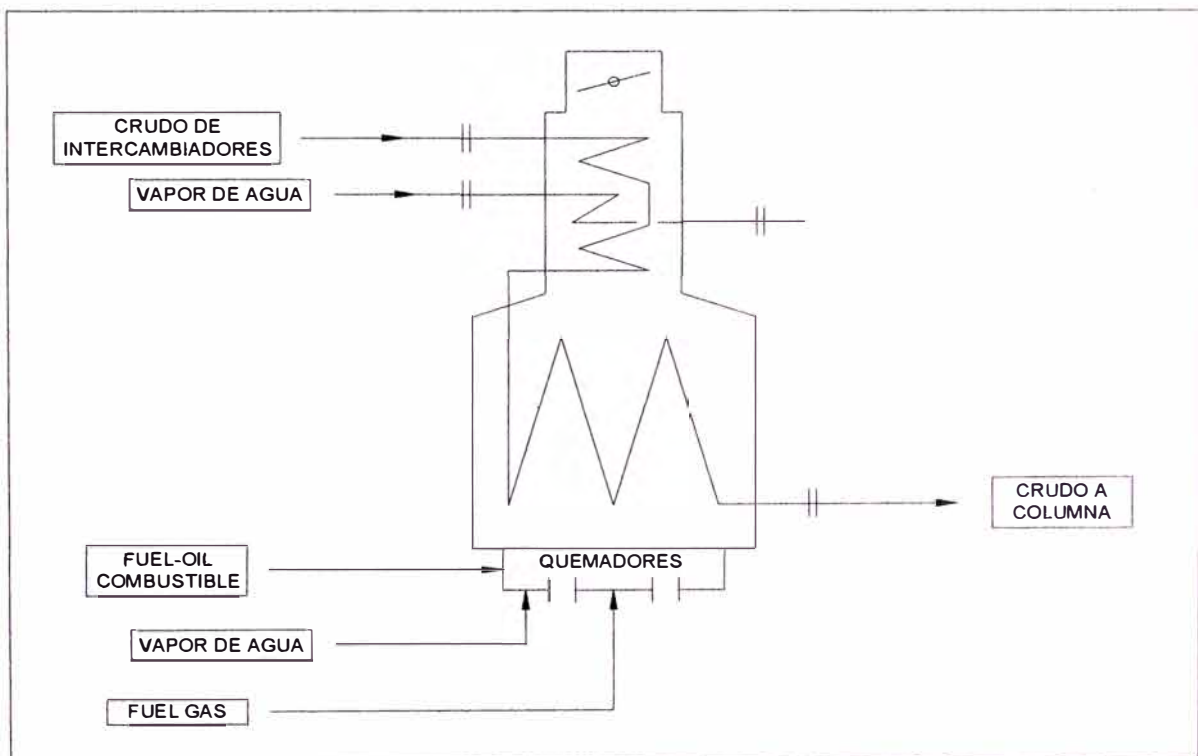


Fig. 3.1. Circuito de alimentación y calentamiento del Horno 311-H1.

3.2. Especificaciones Técnicas del Horno 311-H-1 de Refinería de Iquitos

Características Generales.

Fabricante	:	INTECSA
Tipo	:	Cilindro vertical
Servicio	:	Calentamiento vertical
Altura total	:	33,08 m

Zona radiante

Diámetro	:	4,38 m
Altura	:	7,83 m

Zona convectiva

Largo	:	3,54 m
Ancho	:	2,04 m
Altura	:	3,75 m

Chimenea

Diámetro	:	1,81 m
Altura	:	19,51 m

Condiciones de Combustión.

Tipo de combustible	:	Fue-Oil.
Oxígeno de aire	:	25 %.
Eficiencia	:	80%.
Pérdida de radiación	:	2% HLV.
T° zona radiación	:	870 °C.
T° zona convectiva	:	380 °C.
Tiro al horno	:	2,8 mm H ₂ O.
Tiro de quemadores	:	8,9 mm H ₂ O.
Altura m.s.n.m.	:	1,35 m.
Temperatura aire	:	20 °C.
Calor liberado (PCI)	:	9,24 Mkcal/h.
PCI volumétrico	:	0,012 Mkcal/m ³ .

Diseño de Tubos

Sección de Calentamiento	Radiación	Shock	Convectiva	Vapor
Nº de pasos	1	1	1	1
Longitud de tubos (m)	7,34	3,51	3,51	3,51
Nº de tubos	45	16	---	---
Nº de vueltas	---	2	---	---
Superficie total expuesta (m ²)	146,50	20,50	---	---
Nº de tubos empitonados (extendidos)	---	---	64	14
Nº de vueltas	---	---	8	2
Superficie total expuesta (m ²)	---	---	222,90	42,90
Espaciamiento de centro a centro (pulg)	254	203	203	229
Distancia entre centro de tubo a pared (mm)	216	102	102	114

Tubos	Vertical	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Material, ASTM	A-335 P9	A-335 P9	A-335 P5	A-335 P11
Dureza	175-241(BHN)		71/72-72/73(RHN)	
Diámetro exterior (mm)	141,3 (5")	114,3 (4")	114,3 (4")	88,9 (3")
Espesor mínimo (mm)	8	8	SCH 40	SCH 40
T máx. pared del tubo calculada (°C)			325	440
T máx. pared del tubo diseño (°C)	490	440	340	455
Codos				
Material, ASTM	A234WP9	A234WP9	A234WP5	A234WP11
Perfiles Estructurales				
Material, ASTM	A-36			
Planchas Exteriores y Chapas				
Material, ASTM	A-36			
Regulador de Tiro (Damper)				
Acero inoxidable AISI 316				

Componentes Particulares.

- 4 quemadores, ubicados en el piso de acción vertical. Estos pueden operar con gas combustible y aceite combustible (opcional hasta fuel-oil N° 6).
- 5 termocuplas, para tomas de temperatura en el interior de la cámara de combustión, indicada a continuación:

11-T1-34 : en la entrada zona radiante.

11-T1-14 : en superficie de zona radiante.

11-T1-35 : en zona convectiva.

11-T1-12 : en superficie de tubo zona convectiva.

11-T1-14 : en gases de chimenea.

- 2 termocuplas, para tomas de temperatura de crudo en el horno:

11-T1-10 : en entrada de crudo.

11-T1-15 : en salida del crudo.

- 4 indicadores de tiro ubicados en la zona de radiación, radiación/convección y de chimenea.

- 1 serpentín de radiación : 45 tubos de 5" diámetro.

- 1 serpentín de convección : 80 tubos de 4" diámetro.

- 1 serpentín de vapor : 14 tubos de 3" diámetro.

Total : 139 tubos.

- En la unión radiación convección consta de 3 tubos de 4" diámetro.
- El vapor que ingresa al horno, para recalentarse, es de 9 Kg/cm² (128 psi).

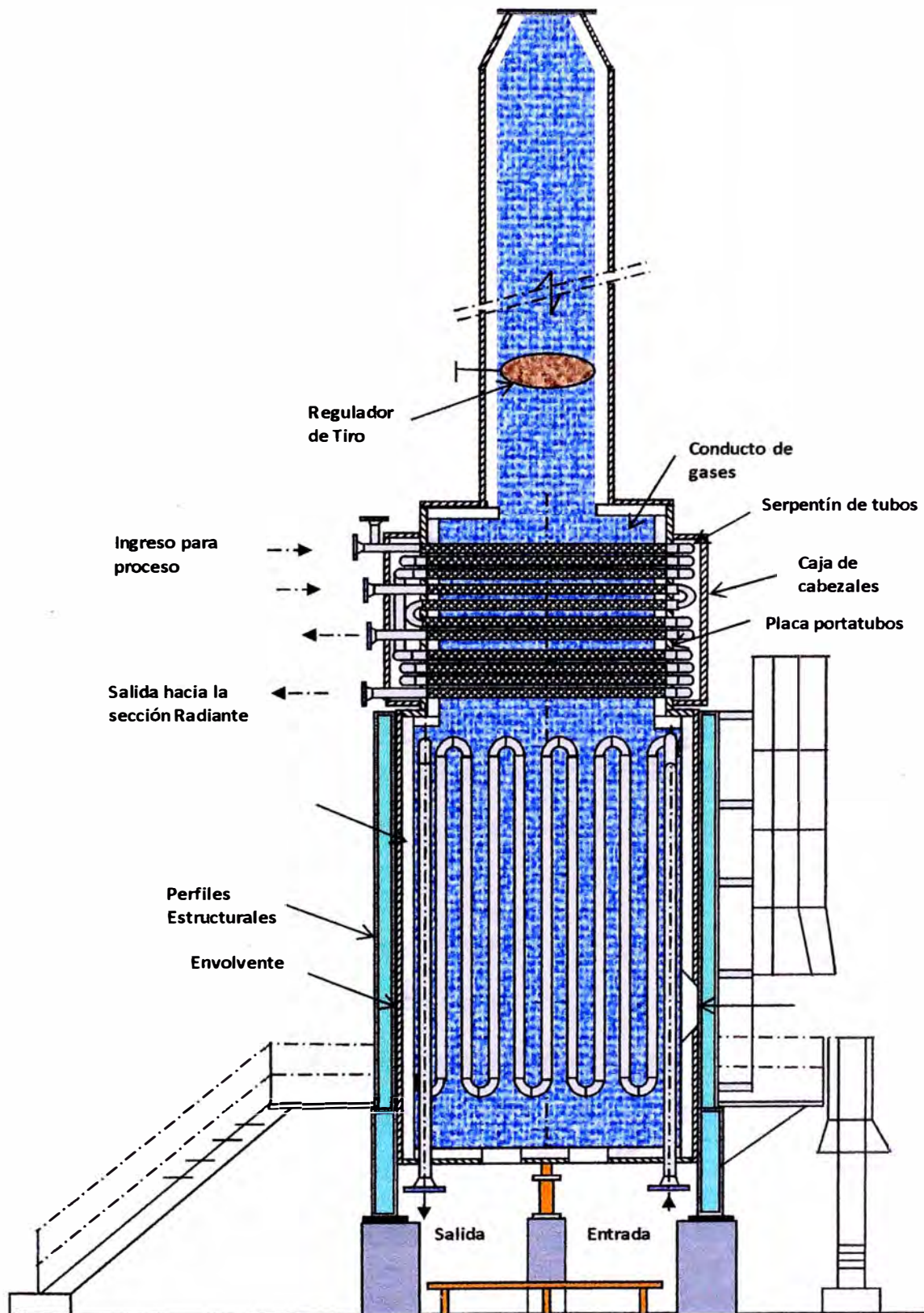


Fig. 3.2. Esquema en corte del Horno 311-H1.

3.3. Factores que ocasionan deterioro del horno

3.3.1. Incidencia de las llamas en los tubos

La incidencia directa de la llama disminuirá mucho la vida útil del tubo y puede dar lugar a importantes roturas en los mismos. La alta concentración de calor causada por la incidencia de las llamas conduce a altísimos niveles de transferencia de calor. Incluso con hidrocarburos a baja temperatura, la formación de coque dentro de los tubos puede producir el subsiguiente sobrecalentamiento de los mismos.

Para evitar este problema se debe verificar el horno diariamente en cada turno de trabajo y regularmente después de cada cambio de carga, para ver si existen señales de la incidencia de las llamas. En los hornos de gas, con velocidades de combustión elevadas, la forma verdadera de la llama no puede observarse a simple vista. Sin embargo, la existencia de manchas locales calientes en las paredes del horno, especialmente de intensidad de su color variable, indican que la porción no luminosa de la llama incide sobre el tubo. Las causas de la forma incorrecta de la llama frecuentemente son:

- Una mala alineación de quemadores
- Insuficiencia de aire de combustión
- Ensanchamiento y corrosión de los registros de los quemadores.
- Descalibración de los agujeros de las toberas de los quemadores.

3.3.2. Combustión Retardada

Si el horno opera con defecto de aire de combustión, puede tener lugar una combustión incompleta. Como resultado puede producirse una

combustión retardada donde haya infiltraciones del aire del ambiente debidas a la depresión producida por el tiro. La combustión retardada en un horno puede no ser visible desde el exterior siendo la única evidencia un rápido incremento de la temperatura de la chimenea. La combustión retardada puede producir daños permanentes debido al sobrecalentamiento de las piezas interiores del horno y deformaciones permanentes del acero estructural.

El remedio inmediato es la introducción de más aire de combustión abriendo el regulador de tiro de los quemadores no sin antes reducir la velocidad de combustión.

3.4. Inspecciones Realizadas al Equipo

3.4.1. Inspecciones Rutinarias con el equipo en Operación.

Las inspecciones rutinarias permiten llevar un control detallado de los parámetros de operación del Horno incluyendo las temperaturas exteriores de la envolvente. A medida que transcurre el tiempo, el refractario que protege interiormente la estructura metálica de un sobrecalentamiento, se degrada paulatinamente perdiendo sus propiedades resistivas. Además, debido a las constantes tensiones por la expansión y contracción entre las capas interiores (altas temperaturas) y las que están más cercanas a la envolvente (bajas temperaturas) generan agrietamientos en el aislamiento y en algunos casos pueden provocar el desprendimiento de las capas superficiales de refractario disminuyendo el espesor de diseño lo que da origen a un aumento de temperatura en la superficie metálica focalizando un sobrecalentamiento en dicha zona. Por tal motivo, uno de los parámetros que necesitan un control continuo es la temperatura superficial de la

envolvente metálica. Los pirómetros son aparatos ideales para realizar mediciones de precisión de temperaturas sin contacto directo en donde no se pueden utilizar los sensores convencionales.

Semanalmente se lleva un registro de la medición de temperaturas en puntos ya establecidos por cada unidad de área. La temperatura exterior de la superficie metálica según las especificaciones del fabricante y por recomendación de la norma API 560 debe estar alrededor de los $\pm 82^{\circ}\text{C}$. Temperaturas muy por encima de ese valor indican un posible problema con el aislamiento interior y es reportado para programar una inspección visual del interior del equipo durante una Parada de Planta, según la gravedad del caso. La visualización de manchas y quemado de la pintura son signos que también evidencian problemas en el refractario.



Fig. 3.3. Tipos de pirómetros digitales para medición de temperaturas superficiales.

3.4.2. Inspecciones programadas en Parada de Planta

Durante cada Parada de Planta se ejecuta un programa de inspección interna del equipo que involucra el análisis de los tubos de la zona radiante mediante réplicas metalográficas, medición de dureza y de espesores; se determina el grado de ensuciamiento de los tubos de

superficie extendida de la zona de convección; así mismo, se hace una inspección visual exhaustiva del refractario, con mayor razón si durante las inspecciones de rutina se detectaron zonas de concentración de calor con elevadas temperaturas; se inspeccionan los quemadores y sopladores de hollín; y se revisa la estructura general del horno en busca de evidencia de fallas estructurales en el material.

3.5. Evaluación Integral de los tubos de la Zona Radiante

En el presente año se programo una Parada de Planta Corta de 7 días de duración con el objeto de determinar mediante técnicas de Ensayos No Destructivos la confiabilidad durante la operación de los 45 tubos pertenecientes a la zona radiante cuyo material es Acero Aleado ASTM A – 335 - P9 (9% Cr – 1 Mo). Para ello se contrató a la empresa especialista en inspección general. El trabajo fue realizado por personal calificado siguiendo un procedimiento de inspección dado por el código ASME secciones I, V, VI, y VIII.

3.5.1. Inspección Visual (VT)

La inspección visual se realizó aplicando las normas ASTM E – 165 Anexo A1, en la preparación de la superficie, DIN 8524 – Parte 1 y ASTM E 433 – 71, en la caracterización de las discontinuidades.

Para su ejecución fueron utilizados Calibradores “Pie de Rey”, lupas y magnificadores, linternas y otros.

Se realizó la limpieza de las superficies, retirando cuerpos extraños e irregularidades superficiales, que interfieren con la inspección, principalmente: óxidos, polvo, grasas, suciedad, escoria, etc., usando escobilla metálica manual o neumática, presión de aire opcional y trapo

limpio sin hilachas (no se permite ningún tipo de granallado ó arenado de limpieza).

3.5.2. Inspección por Ultrasonido Haz Normal (UT)

El Ultrasonido es un método usado para inspección no destructiva, que se basa en propagación de ondas de altas frecuencias introducidas en el material inspeccionado con la finalidad de determinar desgaste por corrosión y espesor actual del material; aplicado en materiales ferrosos y no ferrosos.

La inspección por ultrasonido se realizó aplicando las normas ASTM E – 317 /ASTM E – 609 / ASTM E 587-94 Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Testing.

Para su ejecución se utilizó un Equipo de ultrasonido:

Marca	:	Time Group
Modelo	:	TT-300
Barrido (scan)	:	Tipo A
Características del transductor	:	de 5 Mhz y 0.375" de diámetro
Acoplante	:	Gel Sonotech

Se utilizó como patrón de calibración una muestra de acero de medio carbono, de características similares al componente inspeccionado de espesor variable.

Los valores de medición de espesores efectuados en tres niveles, se detallan en la Tabla 3.3.

3.5.3. Inspección por Dureza (HT)

Las inspección por dureza se realizó aplicando las norma ASTM E – 10, Standard Test method for Brinell Hardness of metallic materials.

Para su ejecución se utilizó un Integrated Portable Hardness Tester TH 132, Hardness Scales HRC, HV, HS, HB, HLC, Material: Steel and Cast steel, cold work tool steel.

3.5.4. Inspección por Réplicas Metalográficas

Este método es aplicado con la finalidad de detectar el cambio de grano intercrystalino, microfisuras, fatiga del material y corrosión intercrystalina. Aplicado principalmente en equipos que se encuentran sometidos a altas temperaturas por largos periodos de tiempo

Las inspección por réplicas metalográficas se realizó aplicando las normas ASTM E3 - 80 Preparation of metallographic specimens. ASTM E112 – 88 Determining average grain size. ASTM E45 - 87 Determining the inclusion content of steel.

Los manuales de comparación utilizados fueron:

- Metals handbook - Atlas of microstructures of industrial alloys.
- Metalurgica services (laboratories limited) patrones de compasración.

Se utilizó un equipo de desbaste y pulido mecánico, reactivos de ataque metalográfico, mmicroscopio metalográfico de análisis de 100X, y a 1000X marca : LEITZ con cámara fotográfica NIKON. El reactivo utilizado para el ataque químico fue VILLELA.

En la Tabla 3.5, se menciona a modo de ejemplo algunos de los resultados extraídos del análisis metalográfico.

Los Métodos usados para la evaluación del comportamiento mecánico del acero y sus propiedades físicas por comparación microestructural se muestran en las Tablas 3.1. y 3.2.

Tabla 3.1. Determinación del tipo de daño del material según la clasificación Toft & Marsden.







Clasificación Toft & Marsden		
DAÑO	FORMA DE GRANO	OBSERVACIÓN
A		Matriz Ferrítica y perlita laminar. Sin daño. No se necesario ninguna medida. Recomendación: Caracterización del Componente cada tres años.
B		Matriz Ferrítica, perlita y comienzo de la esferoidización de la perlita. Carburos precipitados en los límites de grano de forma aislada. Recomendación: Caracterización del componente de dos a tres años.
C		Estado intermedio de esferoidización de la perlita. La estructura laminar es todavía evidente. Recomendación: Caracterización del componente de uno a dos años.
D		La esferoidización de la perlita es completa. Los carburos continúan agrupados en sus colonias originales de perlita. Recomendación: Caracterización inmediata del componente de seis meses a un año.
E		Carburos dispersos en los granos y límites de granos de ferrita. No se observan trazas de la estructura ferrítico – perlítica original. Recomendación: Caracterización inmediata del componente cada seis meses.
F		Carburos dispersos en los granos y límites de granos de ferrita. Gran cantidad de carburos coalescidos, conduce al final de la rotura por creep. Recomendación: Parar la planta y reemplazar el componente.

Tabla 3.2. Determinación del tipo de daño del material según el método Neubauer.

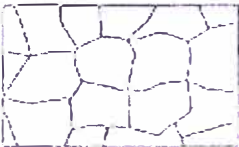
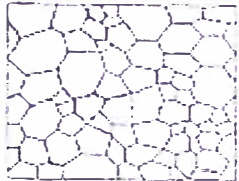
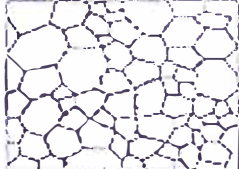
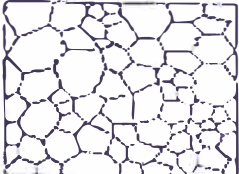
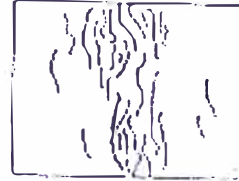
Método Neubauer		
DAÑO	FORMA DE GRANO	OBSERVACIÓN
1		Sin Daño. Recomendación: No es necesaria ninguna medida.
2		Cavidades aisladas; esto aparece al final del estado estacionario del creep. Recomendación: Reinspección en tres años. En este caso, no es posible determinar la dirección de la máxima tensión principal a partir de esta observación.
3		Cavidades orientadas, esto aparece durante el comienzo del tercer estado del creep (creep terciario). Recomendación: Reinspección en uno ó dos años.
4		Microfisuras, esto se desarrolla durante el creep terciario Recomendación: Reparar; continuar en servicio por aproximadamente seis meses y reemplazar el componente.
5		Macrofisuras; esto conduce al final de la rotura por creep del componente. Recomendación: Parar la planta y reemplazar el componente.

Tabla 3.3. Calibración de espesores de la zona Radiante.

TUBO	Zona Inferior			Zona Intermedia			Zona Superior		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	9.44	9.68	10.03	9.68	9.80	9.66	9.68	9.48	9.21
2	10.08	9.18	8.85	10.08	9.42	9.32	9.74	9.09	10.27
3	9.10	9.32	10.08	9.09	9.21	10.03	10.08	9.32	9.43
4	9.99	9.56	9.82	9.56	9.56	9.80	9.44	9.80	9.80
5	9.09	9.63	9.63	9.37	10.51	10.08	10.08	9.99	9.51
6	10.03	9.56	9.28	9.80	9.32	9.09	8.97	9.44	9.80
7	9.09	9.99	10.03	9.09	9.80	10.03	10.01	9.80	9.15
8	9.53	10.03	9.21	9.68	9.99	9.44	9.44	9.56	9.99
9	9.99	8.97	10.39	9.99	9.09	9.09	9.29	9.80	10.08
10	9.99	10.03	10.03	9.99	10.51	9.94	9.68	9.67	9.80
11	9.68	10.03	9.44	9.56	10.08	9.63	9.99	10.08	9.44
12	10.03	9.68	9.86	9.99	9.44	9.80	9.56	9.09	9.56
13	10.27	9.21	9.99	9.56	9.68	9.68	10.03	9.70	9.49
14	9.80	9.32	9.44	10.01	9.80	9.44	9.56	9.56	9.68
15	9.44	9.08	10.27	9.09	9.44	10.27	10.27	9.44	9.21
16	10.86	10.03	8.97	10.57	10.08	9.09	9.09	10.00	10.51
17	9.09	9.32	9.80	9.79	9.44	9.56	9.99	9.56	9.44
18	8.73	9.35	10.08	8.85	9.44	10.03	10.03	9.21	8.85
19	8.73	10.39	10.74	8.97	10.27	10.63	10.21	9.80	9.21
20	10.74	9.44	9.40	10.86	9.44	8.93	8.93	9.30	10.50
21	8.73	9.44	10.74	8.78	9.21	10.86	10.86	9.32	8.73
22	10.08	9.68	9.26	10.08	9.56	9.44	9.21	9.68	9.99
23	10.03	10.39	9.44	10.03	10.39	9.32	9.21	10.31	10.48
24	9.32	10.51	10.74	9.09	10.39	10.74	10.37	10.32	9.21
25	9.32	10.08	10.27	9.44	9.99	9.99	9.44	9.68	9.48
26	10.27	9.56	9.09	10.39	9.80	9.09	9.09	9.56	10.74
27	10.08	9.99	9.21	9.68	10.51	9.44	9.32	9.99	10.06
28	9.44	9.32	9.80	9.17	9.32	9.99	9.44	9.32	9.16
29	10.01	9.21	9.21	10.08	9.44	9.09	8.97	9.09	10.00
30	10.03	9.80	9.21	9.68	9.99	9.44	9.80	10.03	9.85
31	9.32	9.56	9.68	9.56	9.68	9.80	9.44	9.56	9.56
32	9.68	9.56	9.60	9.80	9.68	9.80	10.06	10.01	9.56
33	10.08	9.68	9.56	10.05	9.99	9.44	9.43	9.80	10.06
34	10.03	10.08	9.32	10.03	10.86	9.44	9.69	10.27	10.51
35	10.08	9.99	9.44	9.99	10.03	9.21	9.32	9.80	10.03
36	9.80	9.56	9.68	9.68	9.99	9.68	9.80	9.80	10.58
37	9.77	9.68	9.56	9.68	9.80	9.68	9.99	9.80	9.44
38	10.03	9.68	10.27	10.03	9.68	10.27	10.03	9.68	9.49
39	9.44	9.56	9.68	9.21	9.68	9.56	9.56	9.44	9.44
40	10.00	9.56	9.44	10.02	9.56	9.44	9.56	9.68	10.08
41	9.32	8.97	9.44	9.44	8.85	9.08	9.56	8.97	9.56
42	9.68	10.03	9.68	9.68	9.99	9.68	9.44	10.27	10.08
43	10.58	9.99	9.09	10.27	9.80	9.44	9.86	10.08	10.27
44	9.09	9.99	9.99	9.09	9.99	10.08	10.27	10.03	9.44
45	9.21	9.21	9.21	10.03	10.09	9.21	9.31	9.09	9.80

Límite de Retiro: - 4.80 mm (Calculado con la presión de operación)
- 5.86 mm (Calculado con la presión de diseño)

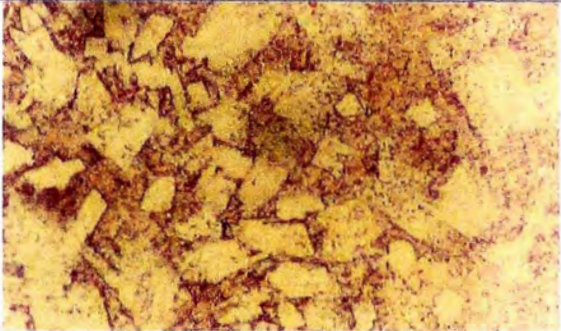
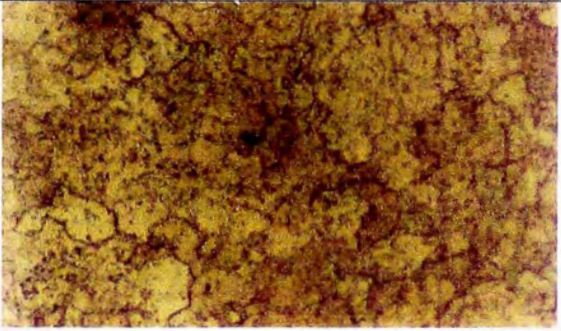

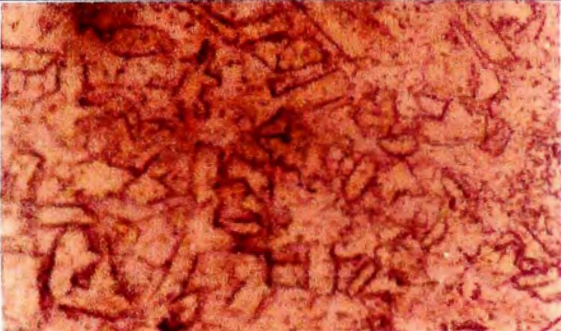
Para ambos casos con un sobre-espesor por corrosión de 1/8 " (3.18 mm)

Tabla 3.4. Dureza BHN en tubos de Zona Radiante.

TUBO	ALTURA (m)			TUBO	ALTURA (m)		
	0.75	1.50	3.00		0.75	1.50	3.00
1	162	153	132	24	148	132	149
2	143	132	149	25	170	157	139
3	155	163	147	26	155	174	141
4	137	150	162	27	132	140	137
5	147	163	136	28	154	143	159
6	135	146	143	29	146	132	142
7	140	136	171	30	142	154	137
8	140	154	129	31	155	153	140
9	142	144	152	32	139	143	148
10	137	132	157	33	148	147	137
11	143	147	120	34	141	147	158
12	149	130	149	35	153	155	139
13	134	139	162	36	133	154	177
14	138	155	134	37	182	150	129
15	149	131	147	38	168	147	140
16	153	159	159	39	171	155	142
17	152	147	138	40	138	152	145
18	146	140	131	41	157	140	136
19	146	133	157	42	149	149	165
20	140	130	145	43	188	170	142
21	143	139	149	44	148	160	159
22	138	144	131	45	143	137	147
23	148	151	162				

RANGO PERMISIBLE UOP 1320-3: 175 – 241 BHN

Tabla 3.5. Descripción de la microestructura de grano de los tubos N° 9, 19, 31 y 43 tomados como muestreo de un total de 45 tubos.

DESCRIPCIÓN	MICRO ESTRUCTURA AUMENTO: 100 X
<p>Tubo N° 9 (Zona Inferior)</p> <p>Descripción: Ferrítica con un 30 % de perlita y carburos dispersos en la matriz</p> <p>Daño: C</p> <p>Tamaño de grano: 7.0</p>	
<p>Tubo N° 19 (Zona Inferior)</p> <p>Descripción: Matriz ferrítica con presencia de perlita en un 30 %.</p> <p>Daño: C a D</p> <p>Tamaño de grano: 7.5</p>	
<p>Tubo N° 31 (Zona Inferior)</p> <p>Descripción: Ferrítica con presencia de perlita en un 30 %. Carburos aislados .</p> <p>Daño: B a C</p> <p>Tamaño de grano: 7.5</p>	
<p>Tubo N° 43 (Zona Inferior)</p> <p>Descripción: Ferrítica con carburos dispersos en la estructura de la perlita y aislados en la ferrita.</p> <p>Daño: C a D</p> <p>Tamaño de grano: 7.5</p>	

3.6. Evaluación Integral Termográfica del Horno

3.6.1. Termografía Infrarroja

Una Termografía Infrarroja es una técnica de mantenimiento predictivo que permite reproducir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara Termográfica produce una imagen en vivo (Visualizada como fotografía de la temperatura de la radiación).

Esta técnica permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Las cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: Termografía o Termograma.

3.6.2. Fundamentos de la termografía por infrarrojos

La Física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

3.6.3. Inspección por Termografía Infrarroja

Esta técnica se emplea bajo los lineamientos de "Non Destructive Testing Vol. III, Infrared and Thermal Testing, ASNT Third Edition Chapter IX Part I. Procedimientos escritos según ASTM A 1934.

Los Patrones de Evaluación se basaron en la API 560 (Fired Heaters for General Refinery Service), capítulo 7. El equipo que se utilizó fue una cámara termográfica marca Flir, modelo E-45.

3.6.4. Consideraciones Técnicas de Inspección por Termografía

Los rangos recomendados óptimos por API 560, están basados bajo condiciones ambientales de 27° C y velocidad de viento de "cero". De acuerdo con las condiciones ambientales de la zona de Iquitos con velocidades fluctuantes entre 10 a 20 nudos, temperaturas ambientes entre 16° C y 40° C, se obtiene un rango máximo aceptable de 110° C como condición donde la pérdida de calor ofrece un incremento de mayor velocidad de pérdida tal como se aprecia en la Tabla 3.6,. Con respecto a la integridad del Horno, las temperaturas máximas de la pintura protectora contra la corrosión es capaz de soportar una temperatura máxima de 350° C, con respecto a la planchas metálicas de material ASTM A285, la temperatura máxima no debe superar a los 450°C, que representa el 60%

del punto eutectoide de los aceros, bajo esa temperatura es de esperarse que las planchas empiecen a deformarse por fatiga térmica (ASTM E 136).

Tabla 3.6. Especificaciones de Operación recomendadas por la norma API 560.

EQUIPOS	RANGOS RECOMENDADOS °C	
	ÓPTIMO	MÁXIMO
Superficie externa del casco Zona Radiante	82	110
Superficie externa del casco Zona Convectiva	82	110
Techo de zona radiante y piso	91	110
Superficie de chimenea	82	110

La evaluación termográfica del Horno se realizó bajo las siguientes

características de operación:

Carga : 10,000 Barriles por Día
 API : 24.6
 Temperatura Ambiente mínima : 24° C
 Temperatura Ambiente máxima : 36° C

Bajo estas condiciones se muestra en la fig. 3.4. el esquema con las temperaturas de operación durante el examen termográfico. Se ha dividido en tres zonas: Radiante, Convectiva y Chimenea.

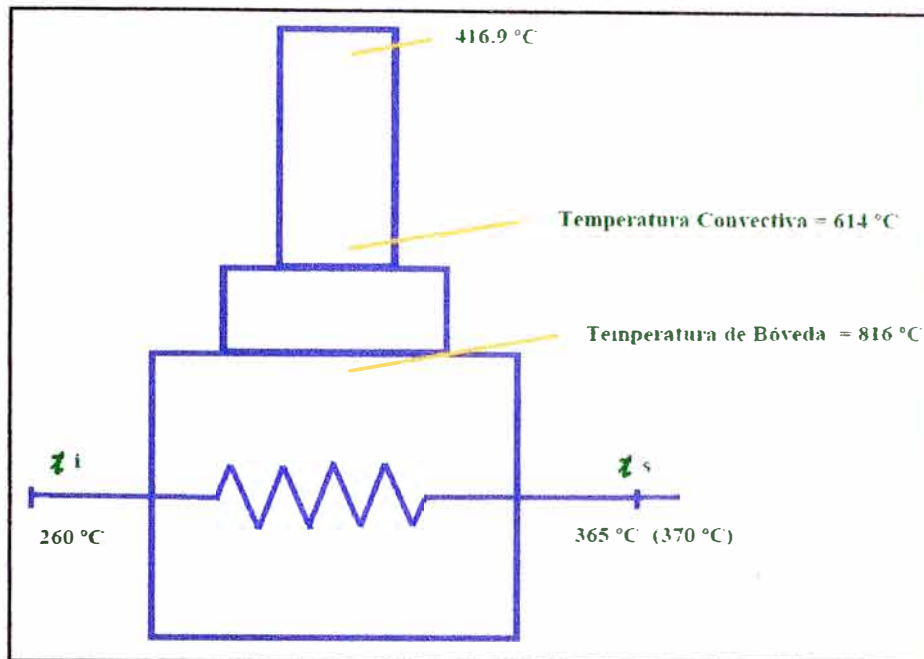


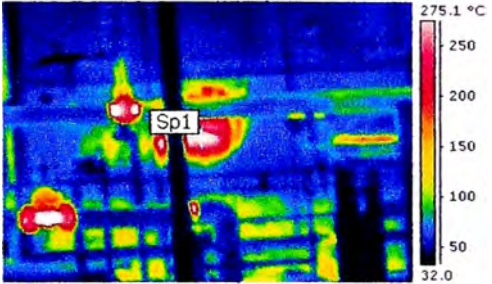

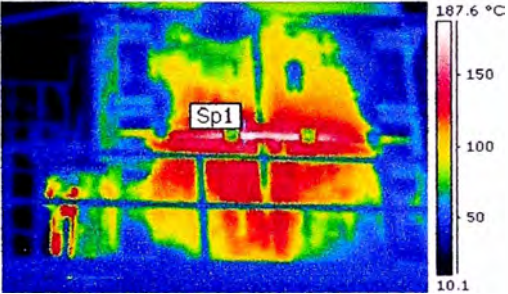

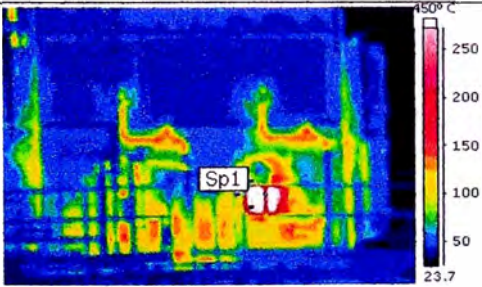
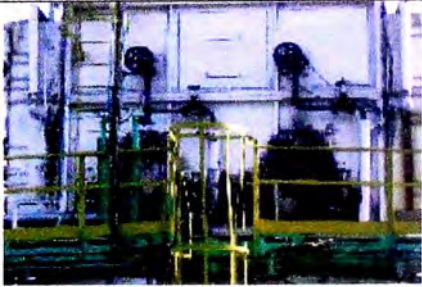
Fig. 3.4. Condiciones de Operación durante la inspección Termográfica.

3.6.5. Análisis de la Zona Convectiva

En la Tabla 3.7. se aprecia los resultados (termogramas) de las zonas analizadas que presentan temperaturas que sobrepasan el límite permisible de operación.

Tabla 3.7. Termogramas de la zona Convectiva.

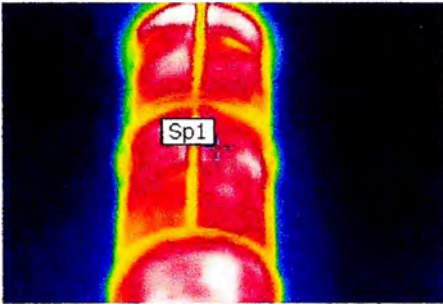



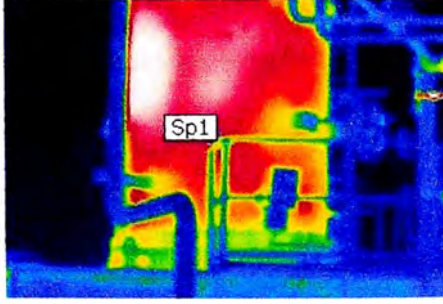

PANEL LADO SUR	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 165 °C T intermedias (Sp2): 164 °C T intermedias (Sp3): 141 °C</p>	<p>El panel lado Sur también presenta temperaturas muy altas, por el orden de los 165°, incremento con respecto al obtenido en el 2005, siendo la plancha del panel inferior el que cuenta con máxima temperatura.</p>

PANEL LADO ESTE	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 275 °C T intermedias (Sp2): 246 °C T intermedias (Sp3): 237 °C</p>	<p>El panel lado Este también presenta temperaturas muy altas, por el orden de los 275°, incremento con respecto al obtenido en el 2005, siendo la estructura el punto de máxima temperatura.</p>
PANEL LADO OESTE	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 187 °C T intermedias (Sp2): 177 °C T intermedias (Sp3): 142 °C</p>	<p>El panel convectivo lado Oeste presenta una apariencia con falta de pintura. Las temperaturas oscilan entre 177 y 187° C que exceden lo recomendado por API 560, sin embargo las zonas de los marcos se encuentran sobre 230°C similar al valor obtenido hace 2 años.</p>
PANEL LADO NORTE	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 475 °C T intermedias (Sp2): 275 °C T intermedias (Sp3): 253 °C</p>	<p>En el panel convectivo lado Norte (zona debajo del soplador de hollín), se ha encontrado un punto demasiado alto de hasta 450° C, la plancha se muestra deformada por haber superado las condiciones de diseño.</p>

3.6.6. Análisis de la Chimenea

En la Tabla 3.8 se aprecia los resultados (termogramas) de las zonas analizadas de mayor temperatura.

Tabla 3.8. Termogramas de la zona radiante.

PARTE SUPERIOR	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 123 °C T intermedias (Sp2): 116 °C T intermedias (Sp3): 108 °C</p>	<p>La chimenea parte superior presenta temperaturas discretamente altas, por el orden de los 123°, la gradiente de temperatura se muestra uniforme.</p>
PARTE MEDIA	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 115 °C T intermedias (Sp2): 114 °C T intermedias (Sp3): 110 °C</p>	<p>La chimenea parte media también presenta temperaturas discretamente normales, por el orden de los 115°, la gradiente de temperatura se muestra uniforme.</p>
PARTE INFERIOR	
	
<p>Temperatura máxima (Sp1): 131 °C T intermedias (Sp2): 122 °C T intermedias (Sp3): 111 °C</p>	<p>La chimenea parte inferior también presenta temperaturas por el orden de los 131°, la gradiente de temperatura se muestra uniforme.</p>

3.7. Determinación del Problema

Las réplicas metalográficas permitieron determinar con bastante exactitud el estado metalúrgico y la degradación del serpentín de tubos correspondientes a la zona radiante por su exposición a altas temperaturas. Dado que los procesos de degradación metalúrgicos por efecto térmico de estos tubos se originan principalmente desde la superficie externa, los resultados extraídos a partir de las réplicas permitieron evaluar el estado microestructural obteniendo un nivel de daño más crítico del tipo C con cierta tendencia al tipo D; por tal motivo, pueden seguir en operación siempre y cuando se realice una caracterización de los tubos más dañados anualmente.

El principal problema radica en el sobrecalentamiento al que están sometidas las estructuras y recubrimientos metálicos de la zona convectiva y chimenea. Tal como lo demuestran los termogramas, existen zonas con temperaturas exteriores que sobrepasan los límites máximos permitidos por la norma API 560 sobrepasando los 400 °C. Esta temperatura excesiva ha ocasionado el desprendimiento de la pintura que protege la envolvente metálica exterior de la humedad del ambiente. Así mismo, se aprecia claramente las deformaciones de las estructuras que conforman la zona convectiva. Vigas pandeadas, planchas corroídas e hinchadas y marcos estructurales curvados, tal como se muestra en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7, indican claramente que la estructura convectiva se está deformando a consecuencia de un incremento de la temperatura por un posible desprendimiento interno del refractario. Una de las zonas más afectadas es el Panel del Lado Este que presenta un hinchamiento de la plancha metálica, disminuyendo sus propiedades físicas y poniendo en riesgo el equipo ante una posible perforación.

En vista del riesgo que implica mantener el horno operando a esas condiciones, se toman medidas inmediatas para realizar el cambio total del refractario interno de la zona convectiva y parte de la chimenea. Por otro lado, teniendo en consideración el tiempo de operación continuo del equipo (29 años) y la deformación de las estructuras metálicas por el sobrecalentamiento, se hace necesario construir una nueva zona convectiva para ser instalada (montada) durante la próxima Inspección General programada para el año 2011.



Fig. 3.5. Hinchamiento de la plancha metálica que recubre el panel frontal de la zona convectiva por el sobrecalentamiento en esa zona.



Fig. 3.6. Elementos estructurales que han sufrido deformación.

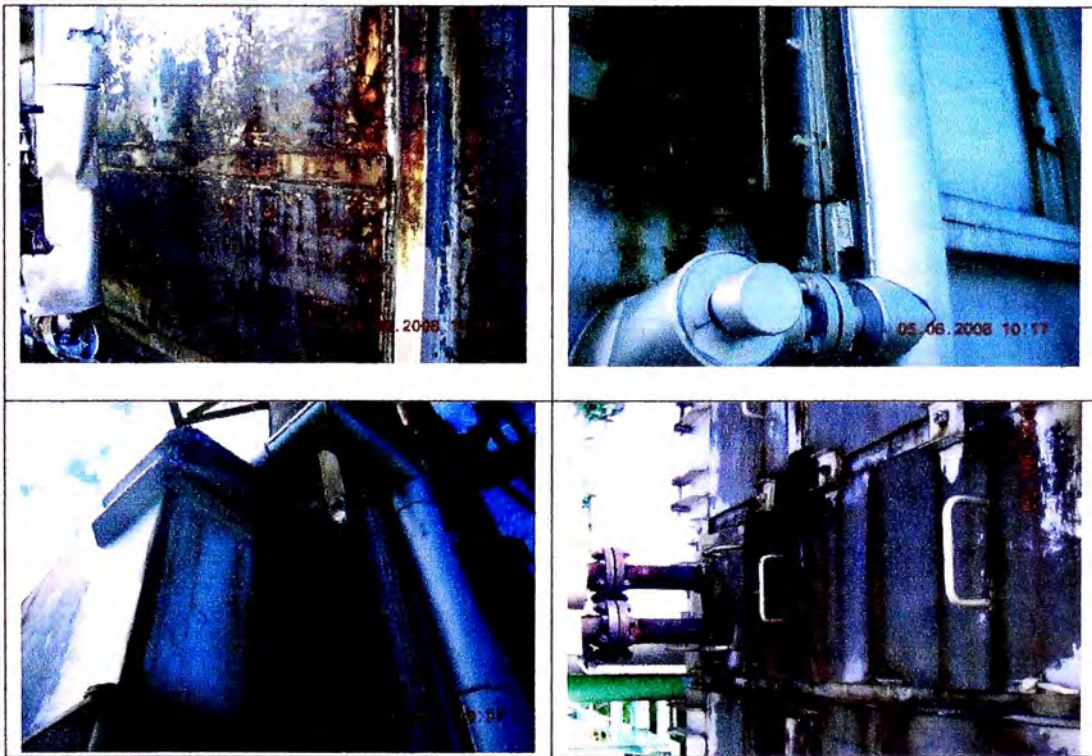


Fig. 3.7. Parte exterior de la zona convectiva donde se ha desprendido la pintura por la alta temperatura dejando expuesto el metal al medio ambiente.

CAPITULO IV

TRABAJOS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

4.1. Mantenimiento tradicional efectuado al horno

Generalmente el mantenimiento total del horno que se realiza en Paradas de Planta Mayores programadas cada 4 o 5 años, consiste principalmente en realizar las siguientes actividades:

4.1.1. Trabajos de mantenimiento preventivos

- Limpieza exterior de los tubos de la zona radiante en forma manual o mecánica retirando el oxido, polvo y cuerpos extraños adheridos a la superficie.
- Mantenimiento y calibración de los quemadores y sistema de alimentación de combustible.
- Lavado químico de los tubos de superficie extendida (conocidos también como “tubos entetonados”) pertenecientes a la zona convectiva.
- Mantenimiento a los sopladores de hollín.

4.1.2. Trabajos de mantenimiento correctivos

- Cambio de planchas deterioradas que han estado expuestas a temperaturas por encima de su límite de operación (cuando es accesible efectuar estos reemplazos) o reforzamiento estructural exteriores con

sobreplanchas de las zonas que presenten agrietamientos u otras fallas en todas las secciones del Horno.

- Reparación del aislamiento refractario en las zonas donde exista evidencia del desprendimiento de las capas exteriores, en las zonas donde se haya concentrado sobrecalentamiento por degradación de sus propiedades resistivas o en las zonas donde se han reemplazado las planchas metálicas de la envolvente.
- Reemplazo de ladrillos refractarios rotos o deteriorados que conforman los alojamientos de los quemadores y reparar el aislamiento refractario de las “ollas” de los mismos.
- Reparación o cambio de líneas de vapor que ingresan a los quemadores, deshollinadores o para ahogamiento en caso de incendio.
- Cambio de los empaques de todas las puertas y manholes que sellan las salidas de los gases de combustión.

4.1.3. Métodos de Limpieza externa de las aletas o tetones y superficies extendidas

Además del lavado químico que se efectúa solo durante una parada de planta para remover el carbón, sulfuros, etc. que se depositan con el transcurso del tiempo generalmente en operación continuada con Fuel-oil, formando una especie de costra muy dura sobre los tubos de superficie extendida, reduciendo drásticamente su efectividad, existen otros métodos muy utilizados en Plantas de Refinación de Petróleo.

Uno de ellos es hacer circular agua fría a través de los tubos después de haber parado el horno y al mismo tiempo introducir vapor en la

cámara de combustión. El vapor condensará en el exterior de los tubos y disminuirá los depósitos.

El método más usado sin embargo, es el soplado de hollín, que puede efectuarse mecánicamente o a mano. Los sopladores mecánicos con los que cuenta el horno son del tipo fijo con lanza multitobera. El soplado solamente puede mantener los tubos limpios pero no limpiar los tubos sucios. Por tal motivo, los sopladores de hollín deben usarse de forma regular (en operación), siendo la frecuencia de uso determinado por los parámetros medidos por los instrumentos del equipo y por experiencia propia del operador.

4.1.4. Método de Decoquizado de los tubos del horno mediante la mezcla aire – vapor

Siempre que se procesa crudo a altas temperaturas, la formación de coque es inevitable y debe ser esperada. Normalmente la velocidad de formación de coque es tal que puede ser eliminado durante las paradas programadas ya sea por decoquizado con la mezcla vapor – aire o por limpieza mecánica también conocida como “turbinig” (solo puede efectuarse en los tubos que dispongan de cabezales con tapones). En el horno 311-H1 solo se puede aplicar el método de decoquizado con aire vapor.

Sin embargo, la formación de coque puede tener lugar también durante el periodo inicial de la puesta en marcha, cuando son frecuentes los trastornos temporales y a menudo no conocidos. En tales casos, el incremento de la pérdida de carga no es aparente todavía y deben buscarse otros indicios para juzgar la severidad de la formación de coque, tal como la aparición de los tubos calientes. La presencia de tubos calientes puede

notarse por inspección visual, por termopares o a través de un análisis termográfico. Los tubos fríos aparecen negros, los templados grises y los calientes lisos y aceitosos o rojos. Si hay incidencia de llama en los tubos o existen condiciones de combustión pobre, cualquier coloración irregular o no uniforme en un tubo es una indicación de alta temperatura del metal debida a los depósitos de coque.

La operación de limpieza con una mezcla de vapor – aire se lleva a cabo normalmente en dos fases denominadas descamación y quemado. Para ciertos casos, dependiendo de la naturaleza del coque depositado, únicamente se hace necesario la operación de descamación para limpiar los tubos satisfactoriamente.

La descamación consiste en romper las capas de coque depositadas en los tubos mediante calentamiento y posterior contracción mientras que el vapor a alta velocidad elimina el coque del interior de los tubos quebrándolo y arrastrándolo. El caudal de vapor recomendado según el diámetro nominal del tubo se indica en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Recomendaciones para el vapor durante la operación de descamado.

Dimensión del tubo (pulg)	Caudal vapor (kh/h)
3"	1650
3 - 1/2"	2250
4"	2850
5"	4500
6"	6500

La fase de quemado es una reacción química comprendiendo reformado y combustión. La reacción de reformado entre el coque y el vapor de agua produce CO, CO₂, H₂. La reacción de combustión entre el coque y

el oxígeno del aire produce CO y CO₂. Los caudales de vapor y aire recomendados según el diámetro nominal del tubo se indican en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Recomendaciones para el vapor y el aire durante la Operación de Quemado.

Dimensión del tubo (pulg)	Caudal de vapor (kh/h)	Caudal de aire (kh/h)
3"	550	55
3 - 1/2"	750	75
4"	950	95
5"	1500	150
6"	2150	215

4.2. Propuesta del mantenimiento y reparación actual del Horno

Este mantenimiento tiene como objetivos mantener operativo el equipo incrementando su confiabilidad, solucionar los defectos por envejecimiento, restablecer las condiciones de funcionamiento predeterminado, mejorar la calidad de los productos obtenidos, disminuir el consumo de energía, minimizar la posibilidad de que el personal operario sufra accidentes por condiciones inseguras, disminuir los gastos por parada del equipo prolongando el tiempo medio entre fallas.

Se proyecta realizar un mantenimiento predictivo directo efectuando el reemplazo de una nueva sección convectiva y de una sección de la chimenea, ambos afectados por problemas de sobrecalentamiento a raíz de un deterioro del aislamiento refractario interno y, con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas y evitar las consecuencias de las mismas.

Como medida de mantenimiento preventivo se van a ejecutar trabajos de limpieza en los tubos de la zona radiante, calibración de quemadores, calibración del regulador de tiro y se realizarán las inspecciones para evaluar las variables que

ayudan a conocer el estado de operatividad y obtener los datos suficientes para determinar futuros mantenimientos al equipo.

También, se tomarán acciones correctivas con el fin reparar los ladrillos y cemento refractario del interior de la zona radiante y chimenea, reparaciones menores de la envolvente metálica, preparación superficial y pintado general del horno y otros defectos que se hayan presentado en el equipo.

4.3. Trabajos previos al mantenimiento del Horno

4.3.1. Fabricación de nueva Zona Convectiva

Para la prefabricación de la nueva zona convectiva se ha dispuesto la compra de los tubos de aleación especial que conforman el serpentín de calentamiento convectivo a la empresa Italiana CASINGHINI HEATEX SRL. Las especificaciones se indican en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas de los tubos de superficie extendida.

Función	Cantidad	Material	Diámetro Exterior (mm)	Longitud (m)	Dimensiones de birlos (mm)
Escudo	16	A 339 P9	114.3	3.05	---
Convección	64	A 339 P5	114.3	3.05	18
Vapor	14	A 339 P11	88.9	3.05	39



Fig. 4.1. Tubos de Superficie extendida compuesta por pitones o birlos.

La construcción de esta zona estará a cargo de una compañía contratista. PETROPERU S.A. supervisará la ejecución de las actividades y verificará el cumplimiento de las especificaciones establecidas en los planos de fabricación y realice los trabajos de acuerdo a los estándares y procedimientos establecidos por el ASTM, AWS, y API entre otros.

Las actividades se enumeran a continuación:

- Plantillar, trazar cortar y perforar los perfiles estructurales verticales y horizontales; constituyentes del esqueleto estructural principal.
- Habilitar las placas portatubos frontal y posterior con las dimensiones del fondo y laterales de acuerdo a plano y preparar los biseles en los extremos. (Se tendrá en cuenta que la zona convectiva se fabricará en dos partes con el fin de facilitar la aplicación de refractario)
- Habilitar los agujeros en las placas portatubos, soldar los tubos cortos o guías que servirán de soporte para los tubos del serpentín.
- Soldar las placas portatubos en la parte anterior y posterior de la armazón estructural.
- Completar la armazón estructural con el soldeo de las planchas laterales.
- En la parte posterior del prefabricado estructural, cortar 2 agujeros de 4" para la entrada y salida de la línea de crudo y dos agujeros de 3" para la entrada y salida de vapor. Igualmente cortar en el lado frontal 4 agujeros de 2" para la entrada de vapor de los sopladores de hollín a los cuales se les pondrá su respectivo poncho de refuerzo.
- Antes de comenzar el armado de los serpentines de tubos que se alojan dentro del armazón estructural y están soportados en las placas portatubos, se debe preparar previamente la protección aislante en las paredes, fondo y techo, mediante la soldadura de anclajes, encofrado y vaciado de refractario

de acuerdo a los diferentes espesores que tienen las paredes de la zona convectiva. Para el proceso de encofrado, este se hará con madera suficientemente fuerte y segura para seguir la curvatura y perfiles de las paredes de refractario de la zona convectiva. Se deben considerar las juntas de dilatación necesarias en las zonas a ponerse refractario.

- Paralelamente a los trabajos de armado de la estructura del cajón de la convectiva se irán soldando prefabricados en forma de “U” (uniones de un codo de 180° con dos tramos de tubería) teniendo en cuenta los procedimientos de soldadura especial.
- Las costuras de soldadura de las uniones de tubos con codos efectuadas como prefabricados, deben ir para su montaje totalmente probadas y con la conformidad del inspector de Petroperú en todas sus fases.
- Continuar con el armado del serpentín utilizando los prefabricados en “U” o bastones que ya fueron inspeccionados, probados, con el correspondiente tratamiento térmico a cada una de las pegas; metiendo estos a través de las dos placas portatubos. En este paso se deberá ejercer una verificación de las medidas de las longitudes de los tubos que podrían dar lugar a algunos recortes o rectificaciones de las tuberías.
- Continuar presentando los codos de 180° y conformando los serpentines.
- Soldar las “U-bends” o codos de 180° de radio corto y largo tanto de 3” y 4”.
- Efectuar la prueba hidrostática a 500 psi durante una hora. Cuando se realizan las pruebas hidráulicas del serpentín de tubos, es necesario eliminar todo el aire de los mismos. Esto se efectúa haciendo circular un volumen considerable de agua por cada paso, de tal modo que la tubería quede completamente llena hasta que se observe a la salida una circulación de agua que llene completamente el tubo. Se ha de permitir que el agua

circule durante media hora; después se deben cerrar la válvulas de drenaje y elevar la presión para realizar la prueba.

- Preparar y soldar orejas de izaje en los 4 vértices de cada uno de las 2 secciones de la convectiva.
- Preparar ventanas o puertas con bisagras de la caja de cabezales en cada uno de sus extremos de acuerdo a los planos.
- Trasladar todo el conjunto al área de procesos y colocarlo sobre unos caballetes especialmente reforzados para resistir el peso de la estructura.

4.3.2. Adecuación de la Chimenea

La chimenea actual mide 18.550 m de los cuales 9.90 m se tiene prefabricados actualmente en dos secciones las cuales no se pudieron instalar en la Parada General del año 2004.

Los trabajos de prefabricado y/o acondicionamientos previos consisten en:

- Rellenar en un área aproximada de 3.0 m² con soldadura 7018 los pits de corrosión generados por la erosión a la que ha sido objeto por acción de la humedad.
- Efectuar una limpieza mecánica, esmerilar el área rellenada tratando de emparejar la superficie.
- Prefabricar y soldar 02 orejas de izaje con su respectiva sobreplancha a cada uno de los lados de la sección superior de la chimenea.
- Perforar huecos en las bridas para unir las dos secciones nuevas según plantilla obtenida de la parte inferior.
- Realizar una limpieza superficial SSPC - SP5 (Arenado de Metal al Blanco) interior y soldar anclajes de 40.

- Soldar anclajes de 1 ½" de acero inoxidable espaciados cada 6" en forma alternada.
- Aplicar refractario Kaolite mediante procedimiento de encofrado con madera hasta alcanzar un espesor parejo de 50 mm.
- No se deben agregar agujas RIBTEC porque no es recomendado para este espesor.
- Trasladar las dos secciones hasta el pie del horno a su posición de montaje.

4.4. Soldabilidad de los tubos de acero al cromo-molibdeno

Las tuberías y accesorios de materiales aleados al Cr-Mo son muy usados en aplicaciones donde existan altas temperaturas; la resistencia al creep y la resistencia a la oxidación son las principales exigencias.

4.4.1. Aceros al Cr-Mo

Dicho de manera general, la resistencia de los materiales decrece conforme se eleva la temperatura; los átomos se mueven de manera más libre y el módulo de elasticidad E, decae.

Los aceros a altas temperaturas son víctimas de fenómenos diversos, como lo son las distintas formas de fragilización (de revenido, de metal-líquido, etc), la disminución de su límite de fluencia y resistencia mecánica, así como a fenómenos como el CREEP que viene a ser la deformación, dependiente del tiempo, de un material sometido a esfuerzo a temperaturas elevadas (superiores a 340°C, de manera general).

Los aceros pertenecientes a esta familia, tienen tres elementos de aleación básicos: C, Cr y Mo. Generalmente el contenido de C es menor a

0,15%. El contenido de Cr varía desde 0,5 hasta 9 % y el de Mo entre 0,5 a 1%. El Cr ayuda a mantener la resistencia y dureza del acero a altas temperaturas, provee una mayor resistencia a la corrosión en medios oxidantes e incrementa considerablemente la templabilidad.

El Mo incrementa la resistencia mecánica a altas temperaturas y la resistencia al CREEP. Al igual que el Cr, también incrementa de forma significativa la templabilidad del acero. A mayor contenido de Cr y Mo, se obtiene mayor resistencia mecánica y resistencia al CREEP del material a altas temperaturas, mayor resistencia a la oxidación; sin embargo la soldabilidad empeora. En la Tabla 4.4 se presenta la composición química nominal y algunas de las designaciones ASTM y UNS de los aceros al Cr-Mo más utilizados.

Tabla 4.4. Composiciones químicas nominales y algunas de las designaciones ASTM de los aceros al Cr-Mo más utilizados.

Tipo	Composición química	Tuberías
2 1/4 Cr - 1 Mo	C: 0,15 máx, Mn: 0,3-0,6, P: 0,03 máx, S:0,03 máx, Si: 0,5 máx, Cr: 1.90-2.60, Mo: 0.87-1.13	A335-P22
5 Cr - 1/2 Mo	C: 0,15 máx, Mn: 0,3-0,6, P:0,03 máx, S:0,03 máx, Si: 0,5 máx, Cr: 4,0-6,0, Mo: 0,45-0,65	A335-P5
9 Cr - 1 Mo	C: 0,15 máx, Mn: 0,3-0,6, P:0,03 máx, S: 0,03 máx, Si: 0,25- 1,0, Cr: 8-10, Mo: 0,9-1,1	A335 - P9
9 Cr - 1 Mo y V+Nb+N	C: 0,08-0,12; Mn: 0,3-0,6; P: 0,03 máx, S: 0,03 máx, Si: 0,2 - 0,5, Cr: 8-10, Mo: 0,9-1,1;V: 0,18 - 0,25, Nb: 0,06 - 1,0; N: 0,03 -0,07	A335 - P91

La resistencia al CREEP de estos aceros se deriva principalmente de dos fuentes: endurecimiento por solución-sólida de la matriz ferrítica por el C, Cr y Mo; y el endurecimiento por precipitación.

Las propiedades mecánicas de estos materiales dependerán de su microestructura y por lo tanto de su condición de tratamiento térmico. En la Tabla 4.5 se listan algunos valores de resistencia mecánica.

Tabla 4.5. Resistencias mecánicas mínimas de algunas de las designaciones ASTM de los aceros al Cr-Mo más utilizados.

Material base ASTM	Forma del producto	Mínima resistencia ASTM a la tracción (Kpsi)
A335-P22	Tubería sin costura	60
A335-P5	Tubería sin costura	60
A335 - P9	Tubería sin costura	60
A335 - P91	Tubería sin costura	85

4.4.2. Soldabilidad de los aceros al Cr-Mo

Los aceros aleados al Cr-Mo tienen una elevada templabilidad. Son por lo tanto susceptibles a templarse con el enfriamiento al aire luego de la soldadura y producir, en el metal de soldadura y en la zona afectada por calor (ZAC), estructuras martensíticas . Esto producirá un aumento de la resistencia mecánica y dureza; asimismo habrá una disminución de la ductilidad y de la tenacidad.

La transformación martensítica mencionada generará también un elevado nivel de esfuerzos adicionales a los esfuerzos residuales presentes en la junta debido a la contracción natural del metal de soldadura y la restricción a esta producida por el metal base (esfuerzos que serán mayores mientras mayor resistencia mecánica y espesor tenga el metal base).

La tendencia a la fisuración inducida por hidrógeno, será por lo tanto elevada, si es que no se tienen los cuidados adecuados con el mantenimiento del material de aporte y la condición del metal base, antes y durante la soldadura.

4.4.3. Materiales de Aporte

Los materiales de aporte elegidos deben tener la misma composición química nominal que la del metal base, pues el criterio de selección en la gran mayoría de los casos, es igualar, en la unión soldada, la resistencia a la corrosión y/o la resistencia al CREEP del metal base. Los materiales de aporte pueden tener menor contenido de carbono que el metal base; con esto se intenta reducir la templeabilidad del metal de soldadura.

Tabla 4.6. Materiales de Aporte OERLIKON recomendados para los tipos de materiales de los tubos aceros al Cr-Mo de la Zona Convectiva.

Materiales Base ASTM	Materiales de aporte	
	SMAW	GTAW
A335-P5	CHROMOCORD 502	EXSATIG 5Cr 0,5 Mo
A335-P9	CHROMOCORD 505	EXSATIG 9Cr 1 Mo
A335-P11	CHROMOCORD 80B2	EXSATIG 103

4.4.4. Pre calentamiento

El pre calentamiento cumple tres funciones principales:

- Reduce la velocidad de enfriamiento del metal de soldadura y la zona afectada por el calor, disminuyendo así la posibilidad de formar martensita en las mismas.
- Disminuye la intensidad de esfuerzos residuales.
- Disminuye la cantidad de hidrógeno absorbido, ya que promueve la difusión de este al exterior. El pre calentamiento evitará así el endurecimiento y la fisuración de la unión soldada.

A mayor contenido de aleación del metal base y/o al mayor espesor del mismo, la temperatura de precalentamiento será mayor. En la Tabla 4 7 aparecen temperaturas mínimas sugeridas para diversas aleaciones:

Tabla 4.7 Temperaturas mínimas de precalentamiento para diversas aleaciones utilizando materiales de aporte de bajo hidrógeno

Acero	Espesor		
	Hasta 13 mm	De 13 a 25 mm	Más de 25 mm
2,25 Cr – 1 Mo	150 °C	180 °C	180 °C
5 Cr – 0.5 Mo	180 °C	200 °C	200 °C
9 Cr – 1 Mo	180 °C	200 °C	200 °C

Las temperaturas recomendadas deben usarse en todo tipo de unión soldada tales como soldaduras de apuntalamiento, soldaduras de reparación, soldaduras de sello, etc. Cuando se suelden dos aceros de diversos contenidos de aleación, se debe usar la temperatura de precalentamiento recomendada para el acero más aleado.

El calentamiento no debe ser limitado a la superficie del metal a calentarse. Se debe suministrar suficiente calor (por el tiempo necesario), para permitir que la sección entera de la pieza a soldarse sea calentada. El calor debe ser aportado por un método que permita obtener una temperatura uniforme alrededor de la junta. Existen diversos métodos usados para precalentar: antorcha oxiacetilénica, resistencias eléctricas, inducción, etc. La medición de la temperatura puede hacerse a través de tizas térmicas, pirómetros digitales o termocuplas.

El estándar Process Piping ASME B31.3, establece que la zona calentada debe extenderse cuando menos 25 mm más allá de cada borde de la junta a soldarse (B31.3: 330.1.4).

4.4.5. Tratamiento Térmico Post-Soldadura (PWHT . Postweld Heat Treatment)

Este tratamiento se realiza calentando la unión soldada a una temperatura justo por debajo de la temperatura necesaria para iniciar la transformación a austenita (temperatura AC1).

Este tratamiento tiene como fines principales:

- Revenido de la martensita que haya podido resultar de la operación de soldadura. Esto restaura ductilidad de la unión soldada.
- Reducción de los esfuerzos residuales. Esto disminuye la posibilidad de falla prematura o distorsión de la unión soldada.

El Tratamiento Térmico Post-Soldadura se debe realizar de manera obligada en materiales base de alto contenido de aleación ($Cr > 3\%$ ó $C > 0,15\%$) sin importar el espesor de la pieza.

El ciclo térmico de un tratamiento térmico postsoldadura está compuesto de varios pasos como se aprecia en la figura 4.2. Cuatro de ellos son controlados cuidadosamente: ratio de calentamiento por encima de una temperatura específica, la temperatura de tratamiento o mantenimiento, el tiempo a la temperatura de tratamiento y el ratio de enfriamiento hasta una temperatura específica.

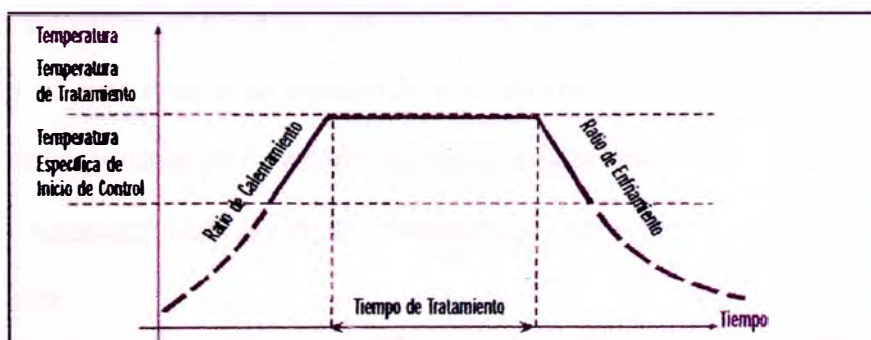


Fig. 4.2. Esquema de temperatura - tiempo de un tratamiento térmico post – soldadura.

Tabla 4.8. Temperaturas de tratamiento térmico post soldadura para diversas aleaciones.

Acero	Espesor	
	Hasta 10 mm	Más de 10 mm
2,25 Cr – 1 Mo	Ninguna	700 – 760 °C
5 Cr – 0.5 Mo	700 – 760 °C	700 – 760 °C
9 Cr – 1 Mo	700 – 760 °C	700 – 760 °C

La banda de calentamiento debe ser la suficiente para disminuir la gradiente térmica longitudinal y radial en las uniones soldadas y así evitar el incremento de los esfuerzos residuales (y con ello la posible fisuración).

Existen métodos para la aplicación local de PWHT y precalentamiento. Los dos métodos más usados son:

4.4.5.1. Calentamiento por inducción

En el calentamiento por inducción (Fig. 4.3), se enrolla unas espiras alrededor de las partes a unirse. Se pasa a través de ellas una corriente alterna (AC) de alta frecuencia. Esta corriente genera un campo magnético variable en el tiempo que a su vez genera corrientes inducidas en los metales a calentar. La resistencia eléctrica al pase de estas corrientes, genera el calor utilizado en el calentamiento por inducción, calentándose así las piezas a tratarse. A mayor frecuencia de la corriente alterna por las bobinas, la fuente de calor dentro de la pieza se acerca más a la superficie y viceversa. Esta fuente de calor, que está por lo general por debajo de la superficie, transmite luego el calor a todo el espesor utilizando el mecanismo de conducción para transmitir el calor.

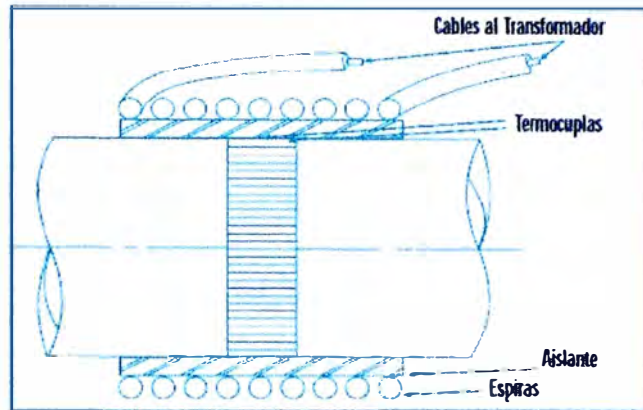


Fig. 4.3. Esquema de la configuración de elementos de un sistema de tratamiento térmico por inducción.

4.4.5.2. Calentamiento por resistencia eléctrica

En el calentamiento por resistencia (Fig. 4.4), se enrollan conductores de alta resistencia eléctrica alrededor de las partes a tratar. Se pasa corriente eléctrica a través de ellas y se genera calentamiento por resistencia (Efecto Joule). Con el adecuado posicionamiento de las espiras y de los aislantes, el calor puede ser dirigido hacia la pieza.

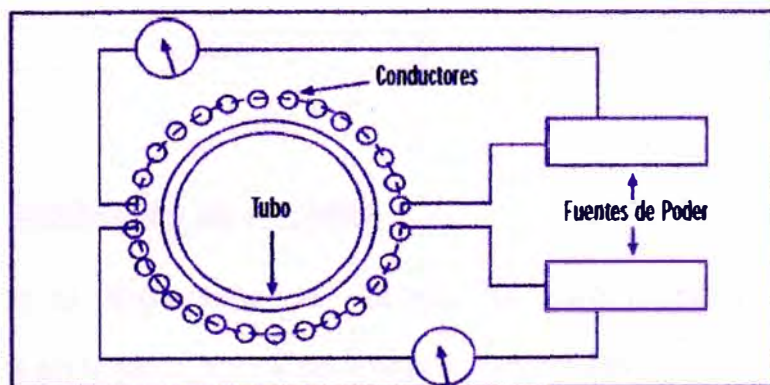


Fig. 4.4. Esquema de la configuración de elementos de un sistema de tratamiento térmico por resistencia.

La medición de dureza superficial en el Metal de Soldadura y en la Zona Afectada por el Calor (ZAC) es un ensayo aplicado para verificar la aplicación satisfactoria del Tratamiento Térmico Post- Soldadura.

4.5. Procedimiento de Instalación de anclajes

La clasificación e instalación de anclajes comprenden los utilizados en la aplicación de Refractario con espesores hasta de 10" en las zonas radiante, convectiva y chimenea de los Hornos de Procesos.

4.5.1. Materiales

Los materiales que se usarán, están en función de la temperatura. La siguiente tabla indica la selección de materiales:

Tabla 4.9. Materiales de los anclajes según la temperatura de operación.

Máxima Temperatura del Elemento Metálico (°F)	MATERIAL
1,100	Acero de Carbono
1,800	Acero Inoxidable AISI 304
2,000	Acero Inox. AISI 310 ó 309

4.5.2. Distribución de Anclajes

En la distribución de Anclajes se hará respetando las distancias indicadas en la tabla 4.10 y se soldarán girándolas 90° alternadamente.

Tabla 4.10. Distancia entre anclajes de acuerdo a su ubicación y espesor del refractario.

UBICACIÓN	ESPESOR DE REFRACTARIO (pulgadas)	DISTANCIA ENTRE ANCLAJES (pulgadas)
Paredes verticales circulares o inclinadas	2 – 3	6
	4 – 5	9
	6 – 9	12
Techos	2 – 3	6
	4 – 6	9
	7 – 9	12
Pisos	2 – 4	9
	5 – 9	5

4.5.3. Soldeo de Anclajes.

La fijación de los anclajes se ejecutará aplicando filetes de soldadura de 1/2" de longitud en ambos lados de pie del anclaje. Al término del soldeo, se realizará la Inspección, golpeando con un martillo uno de los extremos del anclaje; un sonido metálico indicará una buena soldadura, mientras un sonido opaco o sordo determinará el retiro del anclaje.

4.5.4. Refuerzos con Fibras de Acero Inoxidable

En estos últimos años, la adición al Refractario de fibras de acero inoxidable ha mejorado las características finales del refractario instalado, es decir su resistencia mecánica, al choque térmico y a la erosión, mientras su conductividad térmica se incrementa muy ligeramente. Se recomienda la adición de 2 a 3 Libras de fibras por cada pie cúbico de refractario o 4% en peso. Las características de las fibras de acero inoxidable, serán las siguientes:

- Longitud: de 3/4" a 1.3/8"
- Diámetro: de 0.015" a 0.020"

Las fibras se mezclarán en la tolva durante la preparación del refractario.

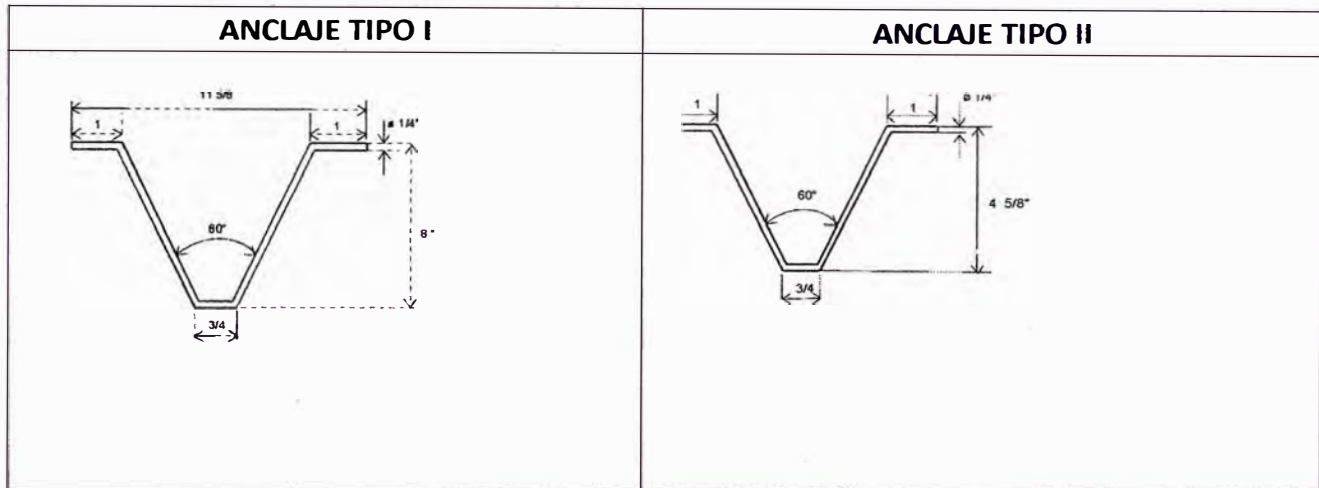


Fig. 4.5. Dimensiones de los tipos de anclaje.

4.6. Procedimiento de Instalación del Concreto Refractario

4.6.1. Preparación superficial

Las superficies a las cuales va a ser aplicado el concreto deberán estar provistas de anclajes y serán liberadas de polvo, óxido y otras materias extrañas por medio de pulidoras o esmeriles después de un arenado comercial y sopleteado con aire.

4.6.2. Preparación del Concreto Refractario (KAOLITE 2500 LI)

El material refractario a preparar será, KAOLITE 2500 LI GUN A cuya temperatura de clasificación es 2500° F, tiene una densidad aparente entre

1025 - 1170 Kg/m³ y está basado en materias primas tales como vermiculita y perlita expandidas, ligadas con cementos de alta alúmina.

4.6.3. Mezclado

Para 100 kg de material seco se necesitará normalmente 43 a 48 litros de agua de mezclado. Por tal motivo se debe disponer de agua en cantidades suficientes para preparar la mezcla refractaria adecuada, pues estos refractarios son del tipo de liga hidráulica.

El agua debe ser potable y limpia, con un PH 7 (neutra), sin contaminantes, hidrocarburos, exceso de sales y cloruros. Su temperatura máxima será de 30°C. Los recipientes deberán estar bien limpios y libres de sólidos como óxidos de hierro u otras impurezas.

Una mezcla adecuada debe ser cohesiva y suficientemente húmeda que permita al exprimirla con la mano, la caída de unas cuantas gotas de agua. Si se requiere más agua, ésta deberá adicionarse escasamente de modo que le permita esparcirse uniformemente a través de la mezcla. Si la mezcla fluye con facilidad, está muy húmeda.

El tiempo requerido para el mezclado no deberá ser mayor de 5 minutos. Debe evitarse un mezclado más prolongado.

4.6.4. Fraguado

Es la etapa de endurecimiento y alcance de resistencia (consistencia) del castable refractario. Esta etapa empieza pocos minutos después que se inicia la mezcla del cemento con el agua

Aplicación: El concreto deberá aplicarse preferiblemente en horas frías del día o durante la noche. El concreto y los materiales relacionados no deberán exponerse a los rayos solares. Asimismo, durante el período de

endurecimiento el concreto deberá ser protegido de la exposición directa al sol.

4.6.5. Curado

Es el proceso en el cual se mantiene humedecida la superficie del castable refractario, con la finalidad de completar el fraguado hidráulico. Esto es, permitir que el aglomerante del cemento se hidrate totalmente para lograr su óptima resistencia.

El concreto deberá ser adecuadamente curado, manteniéndose húmedo durante el período de endurecimiento. El curado deberá comenzar tan pronto como la superficie expuesta ha endurecido. Esto se prueba cuando no se adhiere cemento al asentar la mano ligeramente a la superficie. El rociado con agua debe ser llevado a cabo desde una distancia adecuada para prevenir que la presión del rociador afecte a la superficie del concreto.

Los intervalos de rociado con agua no deberán exceder los 30 minutos. Además durante este período, la temperatura del concreto debe ser constantemente chequeada para asegurarse que no exceda los 40 °C. El rociado con agua no debe ser hecho por la aplicación de corrientes copiosas de agua, sino que debe ser aplicado en la forma de una fina neblina.

4.6.6. Resane

Los resanes no son deseables; sin embargo en caso de necesidad especial, éste deberá ser hecho inmediatamente después del período de curado mientras las superficies aún están húmedas.

4.6.7. Secado

Esta etapa es para eliminar lentamente el agua, principalmente mediante la aplicación de calor. Después de la instalación, los materiales de fraguado hidráulico contienen agua libre y agua químicamente combinada. Estos dos tipos de agua emigran a diferentes temperaturas de la masa compacta, por acción de dicha temperatura.

El secado deberá efectuarse en forma natural y por calentamiento. El secado por calentamiento deberá efectuarse luego de que el secado natural ha finalizado.

Durante el período de secado, debe tenerse cuidado de evitar que ocurran astillamiento y rajaduras de los materiales aislantes.

4.6.7.1. Secado Natural

Durante el período de secado natural, las entradas de aire de los quemadores, las ventanas de inspección y el regulador de tiro deben ser mantenidos totalmente abiertos de modo que las gotas de agua no se depositen en la superficie interior del horno.

Después que el trabajo de aplicación del concreto ha sido efectuado, el secado natural debe efectuarse por lo menos durante 24 horas.

Deben ser instaladas termocuplas temporales durante el período de secado natural, para controlarlo.

Previo al secado por calentamiento, la válvula de drenaje debe ser abierta de modo que el aire dentro de los tubos del horno pueda salir a la atmósfera.

En cuanto a los materiales resistentes al fuego para ductos y la chimenea, debe efectuarse solamente secado natural por lo menos durante 72 horas.

4.6.7.2. Secado por Calentamiento

El secado en caliente (Dry-out) es la eliminación del agua física adicional que se agregó en el mezclado y que no se integró químicamente en el fraguado, la cual debe eliminarse reteniendo la temperatura.

Como se ve en la figura 4.6, un hormigón con una humedad inicial del 7 %, una vez realizado un secado a 800 °C, queda con un remanente de agua importante, que al entrar en fase de descomposición comienza a reducir su cantidad a medida que aumenta la temperatura, aunque manteniendo un pequeño valor.

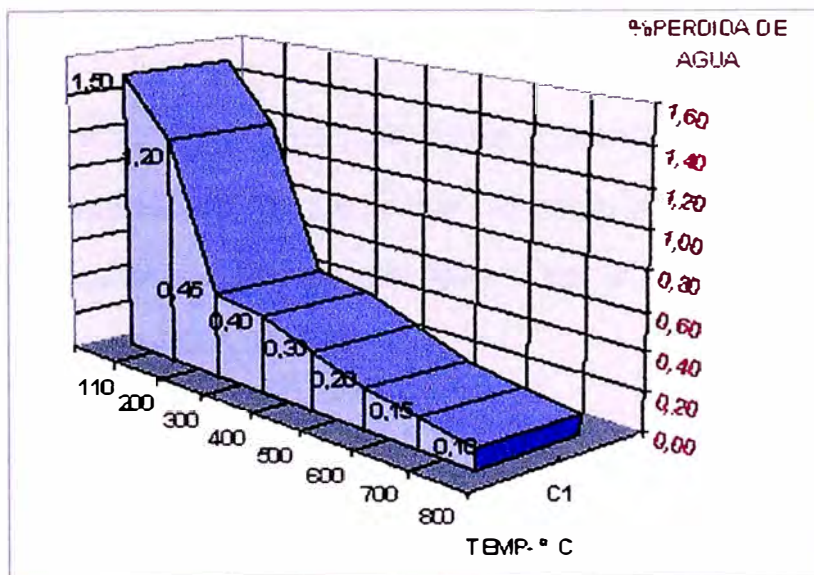


Fig. 4.6 Porcentaje de agua remanente de acuerdo al incremento de temperatura.

Es por esta razón, que después de los 300-400 °C, el agua remanente se considera crítica, pudiendo existir la posibilidad de explosiones, fisuras y deformaciones.

Para realizar el proceso de secado se tiene que seguir las recomendaciones indicadas en la curva de secado proporcionada por el fabricante de refractario.

Para el caso del Horno, el espesor máximo de pared es de 10" por lo cual se debe aplicar la curva de secado que muestra la figura 4.7 y se debe ejecutar el siguiente procedimiento:

Se realiza un secado preliminar por 14 horas a una temperatura de 140 °C. En esta etapa se debe eliminar toda la humedad existente interior, para poder continuar con el calentamiento.

A continuación se continua con el calentamiento a razón de 30 °C/h hasta llegar a la temperatura de eliminación del agua química donde se hace otra retención de 14 horas aproximadamente a una temperatura de 450°C.

Luego se continua con el calentamiento a razón de 50 °C/h hasta llegar a una temperatura en que la liga hidráulica del fraguado se transforma en liga cerámica estable que viene a ser la temperatura de operación (aproximadamente 800°C).

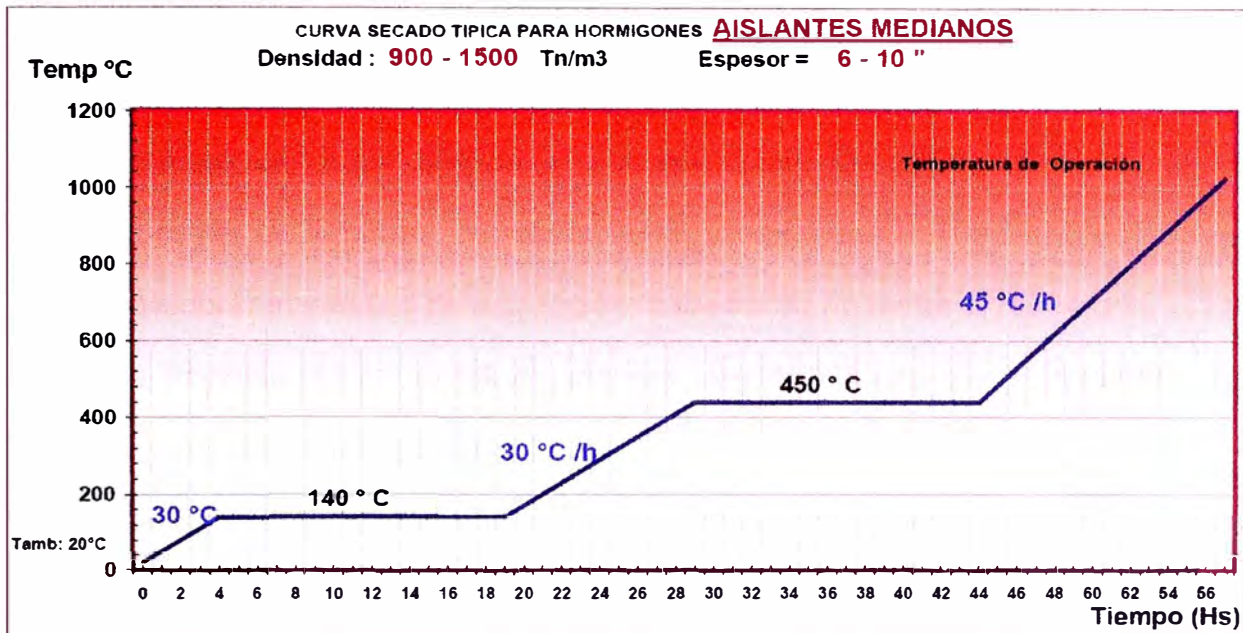


Fig. 4.7. Curva de secado para el hormigón KAOLITE 2500 LI GUN A

4.7. Procedimiento de ejecución del Lavado Químico

Al efectuar la limpieza química de la superficie de los tubos de la zona radiante, se tomará en cuenta las siguientes indicaciones:

Ataque Químico

- Los componentes químicos a utilizar son: fosfato trisódico, urotropina y detergente tenso activo (chisa fad). La dilución a realizar es la siguiente:
- Pesar 3 kg de fosfato trisódico, 1 kg de urotropina y ½ kg de detergente tenso activo y disolverlos completamente con agua ablandada, neutra (PH=7), en un cilindro de 55 galones. Evitar la formación de grumos de los productos.
- Aplicar la solución con brocha y/o pistola tipo spray y verificar si los depósitos se disuelven a esta concentración de los productos. Disolver 3 kg

adicionales con el mismo diluyente acuoso empleado. A fin de no interferir el proceso de limpieza, prever la preparación de cilindros de 55 galones con solución de ataque químico para su aplicación, en caso que sea necesario.

- Durante la limpieza se debe tener permanentemente cuidado de no deteriorar el plástico de protección, a efecto de no dañar el refractario.
- La limpieza se efectuará de manera repetitiva hasta que la superficie del tubo quede completamente limpia.
- Controlar la solución efluente. El PH debe controlarse y anotarse a la salida del tratamiento, cuyo control se efectuará con papel indicador de PH (escala 0-14).

Pasivado y Enjuague

- Los compuestos químicos a utilizar son: fosfato trisódico y urotropina. La dilución a realizar es la siguiente:
- Pesar 1 kg de fosfato trisódico, $\frac{1}{4}$ kg de urotropina y disolverlos completamente con agua ablandada, en un cilindro de 55 galones.
- Aplicar con brocha y/o pistola tipo spray y controlar que la solución efluente tenga un PH de 7.0. Este valor debe ser monitoreado y registrado con papel indicador de PH.
- Inspeccionar la superficie de los tubos. Esta debe estar completamente limpia y libre de depósito.
- La protección del plástico debe mantenerse hermético, de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

4.8. Procedimiento de ejecución del Grafitado Exterior de los Tubos

Para efectuar el grafitado de los tubos de la zona radiante, se tomará en cuenta las siguientes indicaciones:

- Los compuestos químicos a usar son: solvente dieléctrico de evaporación rápida y pasta de níquel grafito, de acuerdo a especificaciones del fabricante. La dilución es disolver estos productos en un cilindro de 55 galones.
- Aplicar con brocha, considerando que la película debe ser uniforme. El Material a utilizar deberá ser previamente inspeccionado por personal del Área de Inspección.
- Se deberá tener especial cuidado en inspeccionar las superficies escondidas de los tubos y verificar que se encuentren cubiertas con la película de níquel grafito.

CAPITULO V

PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

5.1. Descripción de las actividades

5.1.1. Trabajos preliminares

5.1.1.1. Instalación de platos ciegos

Se deberá aislar el horno después de sacarlo fuera de servicio, para evitar derrames de hidrocarburos que quedan como remanentes en las líneas de ingreso y salida del equipo. De esta manera se garantiza la seguridad del personal que trabajará en su reparación y de las instalaciones ante cualquier peligro de derrame.

Tabla 5.1. Relación de platos ciegos y especificaciones técnicas.

Elemento	Diámetro (pulg)	Clase	N° de Unidades
Platos ciegos	3	300	2
Platos ciegos	4	300	3
Platos ciegos	5	300	1
Platos ciegos	6	300	1
Platos ciegos	10	300	1

5.1.1.2. Retiro de tapas del horno y apertura de puertas de las caja de cabezales

Comprende el retiro del manhol de reentubado de la zona radiante y las (02) tapas laterales o ventanas de explosión del horno, los manholes del

techo de la zona radiante y el manhole de techo de la zona convectiva que da acceso a la hilera superior de tubos entetonados y a la base de la chimenea para facilitar al venteo del horno e ingreso del personal, herramientas, facilidades, etc. Se abrirán las puertas de la caja de cabezales para tener acceso a los U-bends y realizar la inspección y calibración de tubos (superior e inferior).

5.1.1.3. Limpieza y vaporizado del horno

Referido a todos los trabajos de limpieza y desgasificado del horno, incluye la inspección externa del horno, control de las fuentes que causen combustión, drenaje de la línea de calentamiento de crudo del horno, eliminación de vapor en la línea de calentamiento de horno, pruebas de vapor de hidrocarburos y gas tóxico.

5.1.1.4. Retiro de Líneas de Alimentación a Quemadores

Comprende el retiro de las líneas de alimentación de combustible, residual, gas oil y vapor hacia los 4 quemadores y conexiones a los pilotos de gas del horno y el retiro de los 4 quemadores y sus accesorios para su inspección y mantenimiento en los bancos de trabajos.

5.1.1.5. Instalación y retiro de andamios

Se instalarán los andamios tipo ACROW, accesos, escaleras y tablonés, en el interior del horno formando sus vértices preferentemente un polígono de más de 5 lados inscrito en una circunferencia de diámetro igual a 3.45 m, con una altura de 7,50 m, y tendrá 4 niveles con un espaciamiento entre cada nivel de 1,80 m. para poder efectuar la

inspección y los trabajos de reparación del techo de la zona radiante. En cada plataforma deberá haber un mínimo de 4 tablones con sus seguros en sus extremos para evitar deslizamientos que propicien un accidente. Asimismo en cada nivel habrá una baranda de seguridad fabricada de tubo o cuerda suficientemente trenzada.

5.1.1.6. Retiro de sopladores de hollín.

Comprende el retiro de los 4 sopladores de hollín y su transporte al banco de trabajo para su inspección, mantenimiento y pruebas de funcionamiento.

5.1.1.7. Desacoplar las líneas de entrada y salida de crudo y vapor a la convectiva.

Comprende el retiro de pernos de las bridas de línea de 4" ϕ de entrada de hidrocarburo a la zona convectiva y salida hacia la zona radiante. Posteriormente colocar una brida ciega de x150 lbs. Para evitar posibles fugas de combustible. Y el retiro de pernos de las bridas de línea de 3" ϕ de entrada y de salida de vapor.

5.1.2. Trabajos de desmontaje de chimenea y zona convectiva del horno

5.1.2.1. Desmontaje de chimenea

Una vez aisladas las líneas de combustible, y retirados todos accesorios que pueden impedir las maniobras de desmontaje, se procederá a posicionar la grúa de 80 TN proporcionada por PETROPERU S.A. para

iniciar las acciones de estrobadado e izaje. El área alrededor de la grúa y debajo del área de izado estará delimitado por cintas de seguridad que impedirán el paso de personal por ser una zona de riesgo.

Asegurar la chimenea mediante estrobos de suficiente capacidad de carga que sujeten la sección superior de las orejas laterales al gancho de la grúa. Desacoplar y retirar los pernos del anillo central que une las dos secciones de la chimenea.

Una vez liberados los pernos de unión, el operador de grúa iniciará el izaje de dicha sección bajo la dirección del maestro maniobrista.

De la misma manera se procederá con la sección inferior, previamente se tendrá que remover los espárragos que sujetan la base de la chimenea con el techo de la convectiva.

5.1.2.2. Desmontaje de la Conectiva

Antes de iniciar esta maniobra se cerciorarán que todas las líneas se encuentran desacopladas y aisladas convenientemente incluyendo las interconexiones entre grupo de tubos.

Se sujetarán los estrobos a las orejas que sostendrán la estructura de la convectiva (parte superior e inferior) y se asegurarán al gancho de la grúa.

Se procederá a remover los pernos que unen la base de la convectiva con los perfiles estructurales que se encuentran sobre el techo de la zona radiante. Tener en cuenta el centro de gravedad de la caja para evitar el balanceo inapropiado de todo el bloque ya que puede originar accidentes.

Se iniciará el izaje bajo la dirección del maniobrista y se bajará en un área indicada por el Supervisor Administrador del servicio.

5.1.2.3. Instalación de empaque de Sello

Instalar empaques sellantes entre las uniones de la zona radiante y convectiva, y lugares indicados a solicitud del área de Inspección de Petroperú S.A., utilizando empaquetadura plana trenzada de asbesto grafitado impregnado con formador de empaquetaduras.

5.1.2.4. Montaje de la Nueva Zona Convectiva

Tomando las medidas de seguridad necesarias se procederá a montar la zona convectiva (parte superior e inferior).

5.1.2.5. Juntas de dilatación de las paredes de la zona convectiva.

Se considerarán juntas de dilatación de 1/8" – 1/4" con Kaowool tanto verticales como horizontales dependiendo del N° de paños a vaciar con Kaolite.

5.1.2.6. Montaje de la chimenea

Una vez asegurada la zona convectiva se montará sobre esta la sección inferior reparada y se aseguraran por medio de espárragos pasantes. Se tomará en cuenta la verticalidad de la estructura y posteriormente se colocarán las dos secciones superiores recientemente acondicionadas, por medio de espárragos de unión. Y se colocarán las juntas entre cada sección de no conseguir alineamiento se utilizarán laines.

5.1.3. Trabajos de reparación

5.1.3.1. Instalación de anclajes

Solo en el caso que exista un desprendimiento de bloques de refractario y de anclajes, se deberá limpiar correctamente la parte afectada y soldar los anclajes de las dimensiones correspondientes de acero inox. AISI 304, en el interior de la zona afectada.

5.1.3.2. Preparación de Mezcla Refractaria y Resane de imperfecciones

Preparar y aplicar la mezcla refractaria en las zonas que presentan deterioro o desprendimiento de la zona radiante y convectiva, de acuerdo a lo indicado en el procedimiento descrito en el ítem 4.7.

5.1.4. Trabajos de limpieza de la zona radiante

5.1.4.1. Limpieza mecánica manual

Se limpiarán cada uno de los 45 tubos de la zona radiante, desde el piso hasta los U-bends superiores por medio de los andamios interiores instalados a diferentes niveles, en forma manual, dejando limpia la superficie para facilitar los trabajos que realizará el área de inspección.

5.1.4.2. Lavado Químico Exterior de los tubos de la zona radiante

Efectuar la limpieza química de la superficie de los tubos de la zona radiante, se tomará en cuenta las siguientes pautas:

Ataque Químico. Se seguirá el procedimiento descrito en el numeral 4.7.

5.1.4.3. Grafitado Exterior de los tubos de la zona radiante

Efectuar el grafitado de los tubos de la zona radiante teniendo en consideración las indicaciones del procedimiento establecido en el numeral 4.8.

5.2. Asignación de Recursos Materiales

Los materiales equipos, facilidades y herramientas que se van a utilizar durante el mantenimiento del horno se indican en forma detallada en las tablas siguientes por cada actividad a realizar.

Tabla 5.2. Materiales, equipos y herramientas para trabajos previos.

ITEM	ACTIVIDAD	MATERIALES		EQUIPOS / FACILIDADES		HERRAMIENTAS	
		CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN
1.00	TRABAJOS PREVIOS						
1.01	Sacar fuera de servicio la Unidad.						
1.02	Vaporizado y Drenado.	10	Teflón, Rollo			1	Tarrajá 1/2" y mordaza
		6	Tubos Fe galvanizado 1/2" Ø.			2	Llaves stilson
1.03	Instalación platos ciegos.	1	Aceite penetrante (afloja todo) Frasco		Platos ciegos A/C: 1 10"Ø x 300 psi 1 6"Ø x 300 psi 2 4"Ø x 300 psi 2 3"Ø x 300 psi	2	Llaves mixtas 1 1/4"
						1	Llave golpe 1 1/4"
						1	Comba 10 lbs
						1	Separador bridas (barretilla)
1.04	Apertura de manholes zona radiante y tapas laterales zona convectiva.	2	Aceite penetrante (afloja todo) Frasco.			2	Llaves mixtas 1 1/16"
						2	Llaves mixtas 7/8"
						1	Barretilla
						2	Llaves americanas de 10"
1.05	Instalar Extractor de aire.			1	Extractor de Aire		
1.06	Retiro 04 quemadores.			1	Cabo nylon 1/2"Ø x 10 mt	2	Llaves mixtas de 3/4"
						1	Llaves americanas de 10"
						1	Llave stilson de 12"
1.07	Enfriamiento y Ventilación						

Tabla 5.3. Materiales, equipos y herramientas para trabajos en zona radiante

ITEM	ACTIVIDAD	MATERIALES		EQUIPOS / FACILIDADES		HERRAMIENTAS	
		CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN
2.00	ZONA RADIANTE						
2.01	Instalación de andamio modular en el interior.			1	Andamio modular desarmable tipo hexagonal de 6 mts altura.		
				24	Madera mohena. 1 1/2" x 12" x 3 mts.		
2.02	Limpieza mecánica externa de tubos.	12	Escobillas de alambre base de madera.	1	Manguera de aire de 3/4"Ø x10 m.	8	Rasquetas planas de 2" de hoja.
		5	Kg trapo Industrial.	2	Guías de luz de 20 mts c/lámpara 200 w.	6	Espátulas
		10	Cartuchos RQ-2000 (RC-75).	2	Cabos de nylon de 1/2"Ø x 20 mt.		
2.03	Lavado químico externo de los tubos.						
2.04	Inspección y calibración tubos.	2	Cartuchos para RQ-2000 (RC-75).	2	Líneas de vida de 10 mt x 1/2"Ø.		Herramientas de inspección.
		2	Respirador para polvo RQ - 2000.	2	Arnés.	6	Espátulas
		10	Lijas Finas.	1	Guía de luz 20 mts c/lámpara de 200 w.		
		1	Disco abrasivo.	2	Calibrador espesores.		
		4	Marcador de metal.	1	Durómetro.		
		2	Aceite penetrante (afloja todo) , Frasco.	1	Esmeril eléctrico.		
		2	Kg trapo Industrial.				
2.05	Talqueo externo de tubos.	50	Kg de talco.				
		10	Kg trapo industrial.				
2.06	Resane de refractario en pared del cilindro y techo. (si es necesario)	50	KAOLITE 2500 LI GUN A.	1	Máquina de soldar elec. 400 A.	2	Picotas pequeñas.
		20	Fibra cerámica 1" espesor (SF), m2.	3	Tinas para preparación mortero.		
				1	Equipo protector para fibra cerámica.		
				1	Modulos PLs triplay para encofrar.	2	Planchas albañil.
				6	Listones madera 1 1/2" x 2" x 3 mts.	1	Tijera para plancha.
					Clavos.		
2.07	Fraguado y curado refractario.						
2.08	Instalar juntas de dilatación con KAWOOL.	1	Mantas Kaowool 1"th, Rollo x 5m2				
2.09	Reinstalación de tapas reentubado.	2	Empaquetaduras nom asbesto 1/8" Klingerit 1000, Asbestán o Garlock 2000.			2	Llaves mixtas 4.0
						2	Llaves mixtas 4.0
2.10	Retiro facilidades y andamios interior.						

Tabla 5.4. Materiales, equipos y herramientas para trabajos en zona convectiva.

ITEM	ACTIVIDAD	MATERIALES		EQUIPOS / FACILIDADES		HERRAMIENTAS	
		CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN
3.00	ZONA CONVECTIVA						
3.01	Soldadura orejas de izaje.	1 pie ²	Plancha A/C ,3/4"th, ASTM A-285 GrC				
3.02	Maniobra de retiro parte superior			1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma.	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1"Ø x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
3.03	Maniobra de retiro parte inferior.			1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1"Ø x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
3.04	Maniobra instalación parte nueva inferior.	86	Pernos Anci BII unc de 5/8" Ø 2 1/2" long. ASTM A 193-37 con tuercas ASTM A-194	1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1" OD x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
3.05	Maniobra reinstalación parte nueva superior.	112	Pernos Anci BII unc de 5/8" Ø 2 1/2" long. ASTM A 193-37 con tuercas ASTM A-194	1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1" OD x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
3.06	Instalar Plataforma divisoria entre Zona Radiante y Zona Convectiva.	6	Tablones madera 1" x 12" x 3 mt				
3.07	Talqueo externo de tubos.	50	Kg de talco.				
3.08	Retiro de 4 sopladores de hollín.	1	Aceite penetrante.	1	Cabo manila 1/2Ø x 20 mts	2	Llaves mixtas 1 1/4" (32 mm)
		4	Empaquetaduras nom asbesto 1/8" Klingerit 1000, Asbestán o Garlock 2000.			2	Llaves mixtas 7/8" (22 mm)
3.09	Mantenimiento mecanismo y válvulas del soplador hollín.	2	Anillos elásticos E12x1	Taller de mantenimiento		Herramientas de taller.	
		2	Anillos elásticos E14x1				
		2	Anillos elásticos E20x1.2				
		2	Anillos elásticos 147x1.75				
		2	Empaquetaduras 9.917				
		2	Empaquetaduras 3.0.037				
		2	Juntas 2.0.049				
		2	Resortes 5.3.182				
		2	Acoplamiento RK - 11.				
		1	Tubos inox . 18/8				
		1	Tubos acero Cr/Mo				
3.10	Reinstalación de sopladores de hollín.	4	Empaquetaduras nom asbesto 1/8" Klingerit 1000, Asbestán o Garlock 2000				
		4	Sopladores de Hollín de Tubos				

Tabla 5.5. Materiales, equipos y herramientas para el mantenimiento de quemadores.

ITEM	ACTIVIDAD	MATERIALES		EQUIPOS / FACILIDADES		HERRAMIENTAS	
		CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN
4.00	QUEMADORES						
4.01	Inspección y manto. Quemadores.	1	Aceite penetrante.			2	Llaves americanas de 8".
						2	Llaves mixtas de 3/4". (19 mm)
4.02	Reemplazo elementos: oil tip, atomizer y sleeve.	4	Cinta teflón de 1/2" Ø.	1	Tornillo de banco de 6" de quijada.	1	Llave stilson de 12".
		4	Boquillas de aceite.			2	Llaves americanas de 12".
		16	Boquillas de gas.				
		4	Tubos de aceite.				
		4	Tubos de vapor.				
		16	Tubos de gas.				
		4	Atomizer				
		4	Sleeve				
		4	Oil Tip				
4.03	Reemplazo soleras y coronas refractarias.	4	Soleras refract (regent tile)				
		4	Coronas refract (burner tile)				
4.04	Pruebas de funcionamiento: aire, vapor y/o agua.			2	Mangueras de vapor		
				2	Mangueras de aire/agua		
4.05	Instalación línea de aire a quemadores.						
4.06	Reinstalación de 4 quemadores.						Idem ítem 5.0

Tabla 5.6. Materiales, equipos y herramientas para trabajos en la chimenea.

ITEM	ACTIVIDAD	MATERIALES		EQUIPOS / FACILIDADES		HERRAMIENTAS	
		CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DESCRIPCIÓN
5.00	CHIMENEA						
5.01	Soldadura orejas de izaje.	1 pie ²	Plancha A/C ,3/4"th, ASTM A-285 GrC		Ítem 9.11		
5.02	Maniobra de retiro tramo superior (10 mt long.)			1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma.	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1"Ø x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
5.03	Maniobra de retiro tramo inferior (9.6 mt long.)			1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1"Ø x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
5.04	Maniobra reinstalación tramo inferior	24	Pernos Ancl Bll unc de 1" Ø 10" long. ASTM A 193-37 con tuercas ASTM A-194	1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1" OD x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
5.05	Maniobra instalación tramo nuevo superior.	40	Pernos Ancl Bll unc de 5/8" Ø 2 1/2" long. ASTM A 193-37 con tuercas ASTM A-194	1	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	2	Llaves mixtas 1 1/16" (27 mm)
				2	Estrobo de 1" OD x 6 mts	1	Barretilla
				4	Grilletes de 1"Ø		
				1	Cabo manila 3/4"Ø x 50 mts		
5.06	Instalar Plataforma divisoria entre Chimenea y Zona Convectiva.	5	Tablones de madera 1" x 12" x 3 mts				
5.07	Inspección y cambio de cable del Damper.	40	m. cable acero aleac. 18-8 tipo AISI-304				
5.08	Cierre de ventana inferior						

5.3. Asignación de Mano de Obra

El personal que se requiere por cada actividad se detalla en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Personal necesario por actividad según su especialidad.

ITEM	ACTIVIDAD	CUADRILLA						TIEMPO
		Me	Cal	Sol	Ma	Ay	Elec	
1.00	TRABAJOS PREVIOS							
1.01	Sacar fuera de servicio equipo							12
1.02	Vaporizado y Drenado		1		1	2		12
1.03	Instalación platos ciegos	1			1	2		6
1.04	Apertura de manholes zona radiante y tapas laterales zona convectiva.	1			1	2		2
1.05	Instalar Extractor de aire				1	2		2
1.06	Retiro 4 quemadores	1			1	2		2
1.07	Enfriamiento y Ventilación							12
2.00	ZONA RADIANTE							
2.01	Instalación de andamios hexagonal en el interior.	1			1	4	1	12
2.02	Limpieza mecánica y talqueo externa de tubos				1	4	1	12
2.03	Lavado químico externo de los tubos				1	2		12
2.04	Inspección y calibración tubos							6
2.05	Talqueo externo de tubos				1	4		6
2.06	Resane de resane de refractario en pared del cilindro y techo		1		2	4	2	24
2.07	Fraguado y curado refractario.					2		72
2.08	Instalar juntas de dilatación con KAWOOL.	1				4		24
2.09	Reinstalación de tapas reentubado				1	2		2
2.10	Retiro facilidades y andamios interior	1			1	2		4
3.00	ZONA CONVECTIVA							
3.01	Soldadura orejas de izaje.		1	1		2		12
3.02	Maniobra de retiro parte superior		1		2	4		6
3.03	Maniobra de retiro parte inferior.		1		2	4		6
3.04	Maniobra instalación parte nueva inferior.			1	2	4		6
3.05	Maniobra reinstalación parte nueva superior.			1	2	4		6
3.06	Instalar Plataforma divisoria entre Zona Radiante y Zona Conventiva.				1	4		4
3.07	Talqueo externo de tubos.				1	4		6
3.08	Retiro de sopladores de hollín.				1	4		12
3.09	Mantenimiento mecanismo y válvulas del soplador hollín.	2				2		48
3.10	Reinstalación de sopladores de hollín							12
4.00	QUEMADORES							
4.01	Inspección y manto. Quemadores	1				2		96
4.02	Reemplazo elementos: oil tip, atomizer y sleeve	1				2		35
4.03	Reemplazo soleras y coronas refractarias					2	2	48
4.04	Pruebas de funcionamiento: aire, vapor y/o agua	1				2		6
4.05	Instalación línea de aire a quemadores							36
4.06	Reinstalación de 4 quemadores	1			1	2		4
6.00	CHIMENEA							
5.01	Soldadura orejas de izaje.		1	1		2		12
5.02	Maniobra de retiro tramo superior (10 mt long.)		1		2	4		6
5.03	Maniobra retiro tramo inferior.		1		2	4		6
5.04	Maniobra reinstalación tramo Inferior.			1	2	4		6
5.05	Maniobra instalación de nuevo tramo superior			1	2	4		6
5.06	Instalar Plataforma divisoria entre Chimenea y Zona Conectiva				1	4		4
5.07	Inspección y mantenimiento Damper - cambio cable.	1			1	2		36
5.08	Cierre de ventana inferior	1				1		2
6.00	OTROS							
6.01	Retiro, calibración y reinstalación de válvulas de seguridad.	1				1		72
6.02	Cierre de accesos zona radiante y tapas zona convectiva	1				2		8
6.03	Pintura externa chimenea, zona convectiva y radiante							240
6.04	Retiro de plato ciegos	1			1	2		6
6.05	Limpieza área					4		8

5.4. Listado de Equipos

Los equipos mínimos necesarios requeridos para el mantenimiento del horno se indican en forma enumerativa en la tabla 5.8. La cantidad exacta será determinada de acuerdo al número de frentes de trabajo que se establezca para cada actividad.

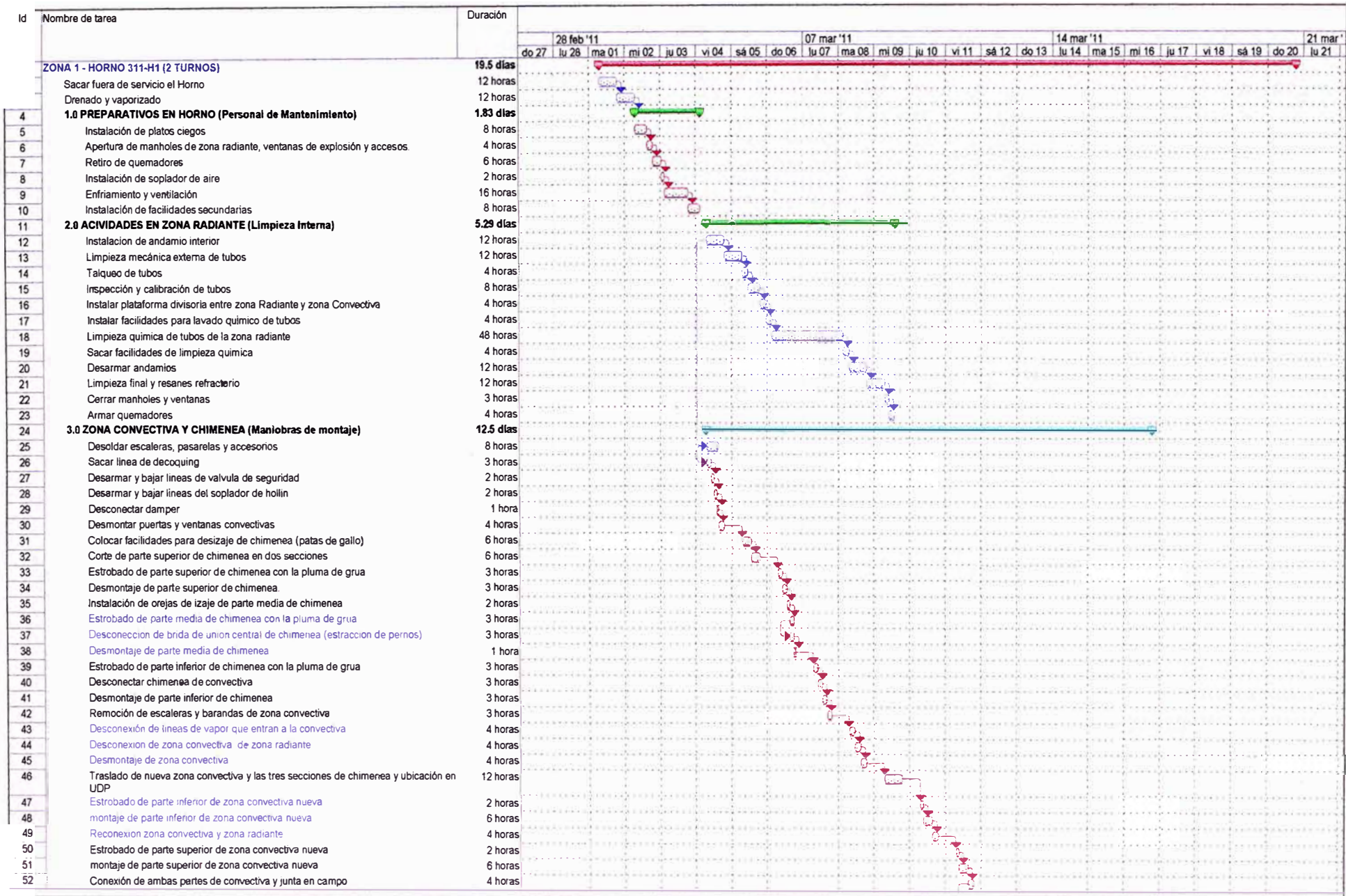
Tabla 5.8. Relación de equipos que se necesitarán para los trabajos de mantenimiento.

ITEM	DESCRIPCION
1	Andamio modular desarmable tipo hexagonal de 6 mts altura.
2	Arnes
3	Compresor aire 750 p3/min
4	Equipo de arenado c/tolva.
5	Equipo de oxicorte
6	Equipo tratamiento térmico
7	Esmeril electrico
8	Estrobos de 1"DIAM x 6 mts
9	Estrobos de 1/2"DIAM x 2 mts
10	Extractor de aire
11	Grilletes de 1"DIAM
12	Grilletes de 3/4"DIAM
13	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma
14	Gufa de luz con 20 mt. de cable lampara de 100w.
15	Máquinas soldar elec. 400 A
16	Martillo neumático
17	Patescas con maniobra de 40 mts
18	Tecele de 2 Tn.
19	Tornillo de Banco de 6" de quijada

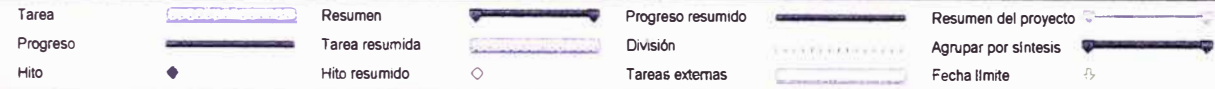
5.5. Cronograma de ejecución

El número total de días programado para la ejecución del mantenimiento del Horno es de 17 días. Las actividades serán realizadas en dos turnos de 12 horas cada uno, siendo las 7:00 a.m. la hora de inicio del primer turno (turno día). Se ha proyectado trabajar con dos frentes de trabajo como mínimo por cada actividad. Los trabajos en altura, montaje y soldadura solo han sido programadas durante el turno día debido a que son considerados de alto riesgo. Trabajos de limpieza, tratamiento superficial, pintado y trabajos en taller si podrían realizarse en el turno noche según lo amerite el caso. Por lo general la mayor carga de trabajo está centrado en el turno día tal como se aprecia en la figura 5.1.

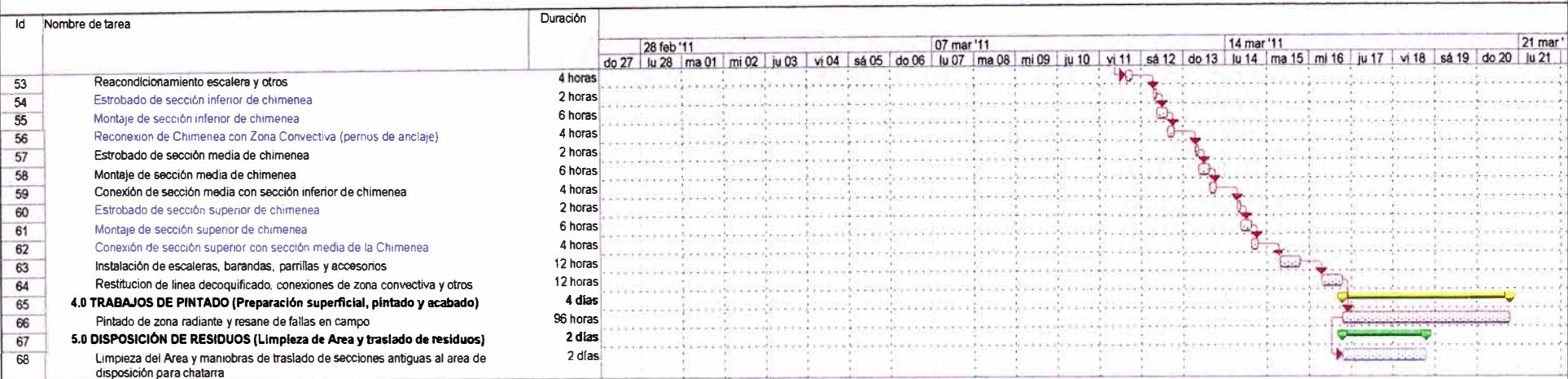
**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES
MANTENIMIENTO DEL HORNO 311-H-1 DE UDP**



Proyecto: PLANEAMIENTO INSPECC
 Programado por: U. Mantenimiento
 Fecha: lun 06/12/10



**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES
MANTENIMIENTO DEL HORNO 311-H-1 DE UDP**



Proyecto: PLANEAMIENTO INSPECC
 Programado por: U. Mantenimiento
 Fecha: lun 06/12/10

Tarea		Resumen		Progreso resumido		Resumen del proyecto	
Progreso		Tarea resumida		División		Agrupar por síntesis	
Hito		Hito resumido		Tareas externas		Fecha límite	

CAPITULO VI

COSTO DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Uno de los factores más importantes que se tiene que considerar dentro de un planeamiento es sin duda el costo global del mantenimiento. Para determinar los beneficios del mantenimiento, es necesario comprender claramente las razones que justifican las actividades de mantenimiento.

Los beneficios que se obtienen al aplicar mantenimiento, son muy grandes y se traducen directamente con los ingresos que percibe la empresa o ahorro que obtiene la misma una vez aplicado el mantenimiento al activo, ya que a través de éste, se logra alargar y preservar la vida útil, se previene la falla y se logra un aumento en la confiabilidad del mismo entre otras tantas cosas. La decisión respecto al tipo de mantenimiento que se va a aplicar, depende muchas veces del factor económico resultando ser, en algunos casos, el menos adecuado.

Una minuciosa estimación de los costos, permitirá sustentar el presupuesto necesario para la reparación apropiada de un equipo.

En la tabla 6.1 se muestra un resumen de los costos estimados que incluyen los costos por contratación de personal, costos por materiales, Insumos y Equipos, los costos de las Servicios contratados directa o indirectamente relacionados con el mantenimiento del Horno y costos generales.

Tabla 6.1. Relación de equipos que se necesitarán para los trabajos de mantenimiento.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Costo US\$
Costo del Personal (Contratado)		
1	Personal directamente contratado por la empresa	22,000.67
2	Personal contratado por terceros	15,436.26
Costo de Materiales, Insumos y Equipos		
3	Costos de Insumos para reparación y mantenimiento	78,680.73
4	Costos de Implementos de Seguridad	9,579.47
5	Costo de los tubos y U-bends para fabricación de nueva zona convectiva + transporte de carga por avión	193,386.55
Costo de los Servicios Contratados		
6	Mantenimiento Mecánico del General del Horno, fabricación de nueva zona convectiva y adecuación de chimenea. Incluye el montaje.	357,116.88
7	Pintado del equipo (preparación superficial, aplicación de 2 capas de pintura, incluye la pintura para alta temperatura y demás consumibles)	8,200.34
8	Servicio de Mantenimiento Mecánico para mantenimiento de los sistemas auxiliares del horno y demás trabajos misceláneos.	15,240.93
9	Lavado químico y talqueado de los tubos de la zona radiante	11,243.02
10	Transporte de Personal Iquitos-Refinería-Iquitos	2,320.00
11	Alimentación del personal	12,600.00
Costos Generales		
12	Implementación de banco de pruebas	4,680.00
13	Adecuación del Taller	2,380.00
14	Construcción de acceso hacia las instalaciones de Refinería para entrada de vehículos de trabajo pesado.	27,890.46
COSTO TOTAL DEL MANTENIMIENTO		732,864.85

Tabla 6.2. Costo de los materiales para los trabajos de mantenimiento.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	P. UNIT.	CANT.	TOTAL
1	Aceite penetrante Equival Chesterton N° 723.	Unid	16.52	5.00	US\$ 82.60
2	Anclajes tipo V 18 Cr - 8 Ni 120 x 220 mm.	Unid	0.30	1200.00	US\$ 360.00
3	Anclajes tipo V A/C de 30 x 45 mm.	Unid	0.30	3500.00	US\$ 1,050.00
4	Balde metálico	Unid	4.00	9.00	US\$ 36.00
5	Balso mediano	Unid	78.00	1.00	US\$ 78.00
6	Bandeja metálica.	Unid	4.00	5.00	US\$ 20.00
7	Bandejas para mortero	Unid	4.50	4.00	US\$ 18.00
8	Cabo manila 1/2"DIAM x 20 mts.	m	2.00	20.00	US\$ 40.00
9	Cabo manila 3/4"DIAM x 20 mts.	m	3.00	20.00	US\$ 60.00
10	Cabo manila 3/4"DIAM x 50 mts.	m	3.00	50.00	US\$ 150.00
11	Cabo nylon 1/2"DIAM x 10 mts.	m	3.00	10.00	US\$ 30.00
12	Cabo nylon 1/2"DIAM x 20 mts.	m	3.00	20.00	US\$ 60.00
13	Cartuchos para RQ-2000 (RC-75)	Unid	5.20	20.00	US\$ 104.00
14	Cilindro Metalico Vacio tapa abierta (55 GL)	Unid	13.20	10.00	US\$ 132.00
15	Cinta teflón de 1/2" DIAM.	Unid	0.18	10.00	US\$ 1.80
16	Compuesto antiadherente.	Fco.	43.07	1.00	US\$ 43.07
17	Coronas refract (burner tile)	Unid	1200.00	4.00	US\$ 4,800.00
18	Electrodos AWS E 6011 / E 7018	Kg	1.84	60.00	US\$ 110.40
19	Electrodos Inoxidable AWS E 505 - 16 5/16" Diam.	Kg	14.96	20.00	US\$ 299.20
20	Empaquetadura ASA asbesto compresible.	Unid	195.00	4.00	US\$ 780.00
21	Empaquetadura ASA asbesto compresible 3"DIAM x 300 psi.	Unid	3.90	2.00	US\$ 7.80
22	Empaquetadura ASA asbesto compresible 4"DIAM x 300 psi.	Unid	5.61	2.00	US\$ 11.22
23	Empaquetadura ASA asbesto compresible 6"DIAM x 300 psi.	Unid	7.24	1.00	US\$ 7.24
24	Empaquetadura Non Asbesto 1 1/2"DIAM x 150 PSI.	Unid	3.08	2.00	US\$ 6.16
25	Empaquetadura Non Asbesto 1 1/2"DIAM x 300 PSI	Unid	3.28	2.00	US\$ 6.56
26	Empaquetadura Non Asbesto 10"DIAM x 300 PSI	Unid	25.90	1.00	US\$ 25.90
27	Empaquetadura Non Asbesto Garlock 2000, Burgman ó equiv. 3.0.037.	Unid	150.00	2.00	US\$ 300.00
28	Empaquetadura Non Asbesto Garlock 2000, Burgman ó equiv. 9.917	Unid	150.00	2.00	US\$ 300.00
29	Empaquetaduras Non Asbesto Alma Acero Klingerit 1000-1/8" th	PI	230.10	3.25	US\$ 747.83
30	Escoba con mango de madera	Unid	5.55	3.00	US\$ 16.65
31	Escobillas acero con mango de madera	Unid	1.06	24.00	US\$ 25.44
32	Kaolite 2500 Li(50lb x Bg)	Bls	157.89	360.00	US\$ 56,842.11
33	Línea de vida de 10 mt x 1/2"DIAM.	Unid	7.00	2.00	US\$ 14.00
34	Línea de vida de 60 mt x 1/2".	Unid	42.00	1.00	US\$ 42.00
35	Liston madera 1 1/2" x 2" x 3 mts	Unid	4.50	8.00	US\$ 36.00
36	Madera mohena 1 1/2" x 12" x 3 mts	Unid	30.00	12.00	US\$ 360.00
37	Manguera de Vapor 3/4" x 10 mts equivalente a Goodyear, Dunlop, etc.	Unid	58.00	2.00	US\$ 116.00
38	Mantas Kaowool Lana Mineral de 5M2	Rollo	82.60	5.00	US\$ 413.00
39	Modulos PLs triplay para encofrar	m2	15.00	2.00	US\$ 30.00
40	Perfil estructural tipo c de 4" x 2" x 1/4"	MI	5.50	6.00	US\$ 33.00
41	Pintura para alta temperatura	Gln	48.00	10.00	US\$ 480.00
42	Plato Ciego A/C ASTM A-36 x 1/4" x 10"DIAM x 300 PSI	Unid	6.80	1.00	US\$ 6.80
43	Plato Ciego A/C ASTM A-36 x 1/4" x 3"DIAM x 300 PSI	Unid	3.15	2.00	US\$ 6.30
44	Plato Ciego A/C ASTM A-36 x 1/4" x 4"DIAM x 300 PSI	Unid	3.55	2.00	US\$ 7.10
45	Plato Ciego A/C ASTM A-36 x 1/4" x 6"DIAM x 300 PSI	Unid	4.35	1.00	US\$ 4.35
46	Respirador para polvo RQ - 2000.	Unid	4.75	8.00	US\$ 38.00
47	Sleeve	Unid	1200.00	4.00	US\$ 4,800.00
48	Soleras refract (regent tile)	Unid	1400.00	4.00	US\$ 5,600.00
49	Talco	Kg	0.50	100.00	US\$ 50.00
50	Tela abrasiva # 60. (Lija)	Unid	0.54	20.00	US\$ 10.80
51	Trajes PVC	Unid	25.00	2.00	US\$ 50.00
52	Trapo Industrial	Kg	0.94	25.00	US\$ 23.50
53	Codo 3/4" DIAM x 90° ROSCADO ASTM A 106	MI	8.00	1.00	US\$ 8.00
TOTAL					US\$ 78,680.83

Tabla 6.3: Costo de los equipos para los trabajos de mantenimiento.

ITEM	DESCRIPCION	UND.	P. UNIT.	CANT.	TOTAL
1	Andamio modular desamable tipo hexagonal de 6 mts altura.	horas	8.5	200	US\$ 1,700.00
2	Ames	horas	0.85	100	US\$ 85.00
3	Compresor aire 750 p3/min	horas	20	480	US\$ 9,600.00
4	Equipo de arenado c/tolva.	horas	12.25	90	US\$ 1,102.50
5	Equipo de oxicorte	horas	18.85	240	US\$ 4,524.00
6	Equipo tratamiento térmico	horas	9.25	72	US\$ 666.00
7	Esmeril electrico	horas	1	240	US\$ 240.00
8	Estrobos de 1"DIAM x 6 mts	horas	0.55	48	US\$ 26.40
9	Estrobos de 1/2"DIAM x 2 mts	horas	0.5	48	US\$ 24.00
10	Extractor de aire	horas	1.25	240	US\$ 300.00
11	Grilletes de 1"DIAM	horas	1	48	US\$ 48.00
12	Grilletes de 3/4"DIAM	horas	1	48	US\$ 48.00
13	Grúa telescópica 70 tn y 150' pluma	horas	250	96	US\$ 24,000.00
14	Guía de luz con 20 mt. de cable lampara de 100w.	horas	1.2	168	US\$ 201.60
15	Máquinas soldar elec. 400 A	horas	19	240	US\$ 4,560.00
16	Martillo neumático	horas	3.5	120	US\$ 420.00
17	Patescas con maniobra de 40 mts	horas	1	80	US\$ 80.00
18	Tecla de 2 Tn.	horas	0.8	240	US\$ 192.00
19	Tomillo de Banco de 6" de quijada	horas	1.2	240	US\$ 288.00
TOTAL					US\$ 48,105.50

CONCLUSIONES

El mantenimiento no debe visto como una inversión y no como un costo, está ligado directamente a la producción, disponibilidad, calidad y eficiencia. En la actualidad cumplir con las normas de seguridad y medio ambiente también es una tarea del mantenimiento porque proporciona seguridad al trabajador y mantiene el índice de accidentes bajo. Este planeamiento fue elaborado teniendo presente las políticas de Seguridad Ocupacional y de Medio Ambiente de la empresa y tiene como meta principal, finalizar la parada de planta sin hechos que lamentar.

El planeamiento y coordinación es la base para que el mantenimiento programado a un equipo sea exitoso. Un minucioso análisis del inventario de materiales disponibles y faltantes, insumos necesarios, personal suficiente, estimación adecuada de los tiempos de ejecución y la previsión de las facilidades, hacen posible ejecutar un mantenimiento sin sufrir retrasos o imprevistos.

Para definir la solución más apropiada a un determinado problema de mantenimiento, se debe realizar un estudio específico en base al análisis de inspecciones que utilicen métodos y equipos de tecnología avanzada. Esto permitirá determinar con exactitud el origen de las causas que afectan al equipo. Las inspecciones realizadas en cada parada de planta por el personal del Área de Inspección sirvieron como referencia para conocer el estado del equipo; la magnitud total del problema del horno, se pudo determinar con la inspección termográfica

realizada por una empresa especializada con certificación Internacional sin necesidad de sacar el equipo fuera de operación.

El reemplazo de la zona convectiva, como parte del mantenimiento predictivo del horno, garantiza una prolongación de la vida del equipo, disminuirá el riesgo de falla a mediano plazo, reducirá el número de paradas de planta programadas para su mantenimiento, incrementando su confiabilidad operativa. Por otro lado, aumentará la eficiencia del proceso de calentamiento debido a que se mejorará la transferencia de calor al crudo con un menor consumo de combustible y se disminuirá la contaminación ambiental debido a la reducción de las emisiones de los gases de combustión.

RECOMENDACIONES

Cuando se realiza una planificación de mantenimiento en donde exista la necesidad de importar un material, parte o repuesto, es muy importante realizar un seguimiento riguroso del estado en que se encuentra ese pedido, con mayor razón si su fabricación solo se hace a pedido por ser un material no comercial. Una alteración en los tiempos pactados para la recepción implicaría grandes consecuencias tales como la postergación del mantenimiento del equipo, que a su vez, interfiere con la programación de actividades relacionadas previamente programadas.

Las inspecciones generales a equipos considerados como críticos deben ser realizadas bajo un programa riguroso con una frecuencia establecida, sin necesidad de esperar evidencias de posibles fallas. Los registros de la medición de parámetros frecuentes nos darán una aproximación del comportamiento del equipo en su tiempo de vida inicial. Esta información servirá como medio de comparación para determinar el estado del equipo a futuro y permitirá planificar el mantenimiento apropiado.

Una de las funciones del planeamiento es el de prever un stock de herramientas y equipos adecuados para la ejecución de los trabajos, detallando sus características (tipo, tamaño, medida, material) de acuerdo a las partes que se van

a intervenir. La experiencia indica que muchas veces, en intervenciones de mantenimiento correctivas, se realizan modificaciones a los equipos como la adaptación de piezas, modificación de partes, aplicación de soldadura para ajustar elementos flojos, etc., con el fin de dar una solución inmediata provisional hasta que se realice un mantenimiento programado no siendo documentado apropiadamente. Por tal razón, es necesaria la verificación In-situ para incluir los equipos, herramientas e insumos que sean necesarios adicionar durante su reparación.

Todo planeamiento debe contemplar la adquisición de equipos de protección personal adecuados según el tipo de trabajo a realizar. Así mismo, debe programarse charlas de inducción de seguridad industrial y del uso correcto de los EPPs. En caso de trabajos de alto riesgo como trabajos en altura y de montajes, se debe requerir los servicios de un profesional especialista en seguridad que evalúe los riesgos y peligros de cada una de las actividades a realizar.

BIBLIOGRAFÍA

- **“Fired Heaters for General refinery Service”** API standard 560, third edition, may 2001, Cap. II al IX, XIII y XIV.
- **“Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries”** API standard 530, fifth edition, january 2003, Cap. II al V.
- **“Inspección de Hornos para Servicios de Refinación”** Edición 1986,
Autores: William A. Woodburn y Nicholas Basta
- Estándar de Ingeniería - PETROPERU S.A, rev. Mayo 2006,
Selección y Aplicación de Pinturas SI3-22-00
Pruebas Metalográficas SI3-24-01
Soldadura de Tuberías en el Campo y Plantas de Proceso SI3-05-19
- **“Manual Mecánico – Calderería Vol 1 - Horno -311-H1”**, TECPLANT,
(propiedad de PETROPERU S.A.)

APENDICES

- APENDICE N° 1:** DEFINICIÓN DE TÉRMINOS
- APENDICE N° 2:** SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS
- APENDICE N° 3:** PLANOS DE ZONA CONVECTIVA
- APENDICE N° 4:** ESPECIFICACIONES – NORMA API 560
- APENDICE N° 5:** NORMAS DE MATERIALES ASTM
- APENDICE N° 6:** DATA SHEET - TUBOS DEL HORNO
- APENDICE N° 7:** INFORMACIÓN TÉCNICA SOLDADURA
- APENDICE N° 8:** INFORMACIÓN TÉCNICA DEL REFRACTARIO

APENDICE N° 1:

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Aire primario. Es la porción del total del aire de combustión que primeramente se mezcla con el combustible.

Aire secundario. Es la porción del total del aire de combustión que es suministrado para los productos de la combustión y el combustible no quemado después de la sección donde el combustible y el aire primario son mezclados.

Anclas para refractario. Un dispositivo metálico o refractario para sostener el recubrimiento aislante o refractario en su lugar.

Atomizador. Es un dispositivo usado para reducir un combustible líquido a una neblina fina. La atomización puede ser producida por vapor, aire o medios mecánicos.

Caída de presión del serpentín. Es la diferencia de la presión de entrada del serpentín y la presión de salida, sin considerar la carga estática.

Caja de cabezales. Un compartimiento estructural aislado internamente, separado de la corriente de gases de combustión, el cual es usado para cubrir retornos o cabezales de distribución. El acceso es proporcionado por medio de puertas articuladas o paneles removibles.

Caja de viento. Una cámara que circunda los quemadores y que es usada para distribuir el aire a los quemadores y/o reducir el ruido de la combustión.

Calentador de tiro balanceado. Utiliza un ventilador de tiro inducido para remover los gases de combustión y un ventilador de tiro forzado para suministrar el aire para la combustión.

Calentador de tiro forzado. Una unidad en la cual el aire para la combustión es suministrado por un ventilador u otro medio mecánico.

Calentador de tiro inducido. Usa un ventilador para remover los gases de combustión y mantener la presión negativa en el calentador para inducir el aire para la combustión sin un ventilador de tiro forzado.

Calentador de tiro natural. Una unidad en la cual una chimenea produce el efecto de inducir el aire para la combustión y remover los gases de combustión.

Calor de absorción. El calor total absorbido por el serpentín excluyendo cualquier aire de combustión precalentado, expresado en MW.

Cara caliente del recubrimiento refractario. El recubrimiento refractario expuesto a las más altas temperaturas en un recubrimiento multicapas o multicomponentes.

Carga térmica. Es la cantidad de calor que puede absorber el fluido de proceso a su paso por el calentador.

Chimenea. Un conducto vertical usado para descargar los gases de combustión a la atmósfera.

Condiciones de operación (temperatura, presión, gasto del fluido de proceso, carga térmica, etc.). Son las condiciones de proceso que están especificadas en las hojas de datos de calentadores a fuego directo y que indican los parámetros bajo los cuales estará operando normalmente el calentador durante su vida útil.

Conducto de gases. La sección del calentador donde los gases de combustión son colectados después del último serpentín de convección para transmitirlo a la chimenea o a los ductos de salida.

Corrosión permisible. El espesor de material adicional para permitir pérdidas de material durante la vida de diseño de un componente. Es la relación de corrosión durante el tiempo de vida de diseño, expresado en milésimas de milímetro por año.

Decoquizado. Es el proceso que hace posible la eliminación del carbón adherido a las paredes interiores de los tubos y cabezales del calentador.

Deflector de gases. Una proyección de la superficie refractaria para prevenir que los gases de combustión se desvíen de los tubos de la sección de convección cuando están en un arreglo triangular.

Densidad de flujo térmico máximo. La máxima relación de transferencia de calor local en la sección del serpentín, expresado en kW/m².

Densidad de flujo térmico promedio. El calor absorbido por la superficie de calentamiento expuesta de la sección del serpentín. La densidad de flujo promedio para un tubo con superficie extendida debe ser indicada sobre una base de tubo desnudo indicando la relación de extensión, expresado en kW/m².

Ducto. Un conducto para aire o gases de combustión.

Eficiencia térmica. Se refiere al total de calor absorbido dividido por el total de calor suministrado, derivado de la combustión de un combustible (base poder calorífico inferior) más el calor total sensible del aire, combustible o cualquier medio de atomización, expresado como porcentaje.

Ensuciamiento permisible. Un factor para permitir que una capa de residuo incremente la caída de presión, normalmente una acumulación de coque y escoria, en la superficie interna de los tubos del serpentín, expresado en milímetros. Este valor se debe utilizar en el cálculo de la caída de presión en sucio.

Envolvente. Es la placa metálica usada para envolver el calentador a fuego directo.

Erosión. La reducción en el espesor de material, debido al ataque mecánico por un fluido.

Exceso de aire. La cantidad de aire arriba del requerimiento estequiométrico para completar la combustión, expresado como un porcentaje.

Fibra cerámica. Un refractario aislante fibroso compuesto primariamente de sílica y alúmina.

Gases de combustión. Los productos gaseosos de la combustión incluyendo el exceso de aire.

Guía de tubo. Accesorio utilizado en los tubos verticales para restringir el movimiento horizontal mientras permite expandirse axialmente al tubo.

Guillotina. Un dispositivo de una simple hoja que es usada para aislar equipos o calentadores.

Hoja de datos de calentadores a fuego directo. Son las hojas que contienen la información de operación y diseño de los calentadores a fuego directo.

Interconexión saltada. La tubería de interconexión de tubería entre una sección del serpentín.

Liberación de calor. El total de calor liberado para el combustible especificado, usando el poder calorífico inferior, expresado en MW.

Liberación de calor normal. El calor de absorción de diseño del calentador dividido por la eficiencia del combustible calculada, expresada en MW.

Liberación de calor volumétrico. El calor liberado dividido por el volumen neto de la sección de radiación, excluyendo los serpentines y paredes divisorias, expresada en kW/m³.

Moldeado. Un concreto aislante colado o lanzado en el lugar para darle una forma o estructura rígida de refractario.

Mortero. Es la preparación de un material refractario para recubrir y unir ladrillos refractarios.

Multi-componente. Sistema refractario consistente de dos o más recubrimientos de diferente tipo de refractario, por ejemplo, concreto y fibra cerámica.

Múltiple. Cabezal para la colección y distribución de un fluido para o de un paso múltiple paralelo de flujo.

Operación normal. Es el funcionamiento del equipo dentro de las variaciones previstas a las condiciones de operación, capacidad y eficiencia especificadas en las hojas de datos y documentos posteriores, y garantizado por el vendedor, sin requerir ningún mantenimiento mayor, reparación o reposición de partes excepto el mantenimiento propio de dicho funcionamiento.

Pared de re-radiación. Pared vertical de ladrillo refractario, la cual es expuesta al choque de la flama directa en uno o en ambos lados.

Pared divisoria. Pared que separa dos zonas adyacentes del calentador.

Paso o corriente. Circuito de flujo consistente de uno más tubos en serie.

Pérdida de tiro. La caída de presión, incluyendo el efecto de flotación a través de los ductos conductores o a través de los tubos y equipos en sistemas de gases de combustión y aire.

Pérdidas por radiación. Las pérdidas de calor al medio circundante de la envolvente metálica del calentador y los ductos y equipos auxiliares (cuando se utilizan sistemas de recuperación de calor), expresado en porcentaje de calor liberado.

Piloto. Quemador pequeño para proveer la energía de ignición para encender el quemador principal.

Poder calorífico inferior. El poder calorífico superior menos el calor latente de vaporización del agua formada por la combustión del hidrógeno en el combustible, también llamado poder calorífico neto, expresado en kJ/Nm³.

Poder calorífico superior. El total de calor obtenido de la combustión de un combustible específico a 288 K (15° C), expresado en kJ/Nm³.

Precaentador de aire. Equipo de transferencia de calor a través del cual es pasado el aire para la combustión y calentado por un medio de mayor temperatura, tales como los productos de la combustión, vapor, u otro fluido.

Precaentador de aire directo. Cambiador de calor el cual transfiere directamente el calor entre los gases de combustión y el aire de combustión. Un precaentador de aire tipo regenerativo usa elementos rotatorios calientes y un diseño recuperativo usa tubos estacionarios, placas, o elementos de hierro fundido para separar los dos medios.

Precaentador de aire tipo indirecto. Dispositivo de transferencia de calor de un fluido al aire. La transferencia de calor puede ser realizada por un fluido térmico, una corriente de proceso o una corriente de servicios auxiliares que ha sido calentada por los gases de combustión o de otra manera. Un precaentador de aire de tubos térmicos utiliza la vaporización/condensación de un fluido para transmitir el calor entre los gases de combustión y el aire.

Presión de diseño elástico. Es la presión máxima a la que estarán sujetos los serpentines de los calentadores por cortos períodos de tiempo.

Presión de diseño de ruptura. Es la presión máxima a la que estarán sujetos los serpentines de los calentadores durante la operación normal.

Presión máxima permisible de operación. Es la máxima presión a la que se puede trabajar un calentador dentro de los límites de seguridad, debe ser menor a la presión de diseño.

Quemador. Introduce el combustible y el aire a las velocidades, turbulencia y condiciones deseadas para establecer y mantener una ignición y una combustión apropiada.

Recubrimiento de respaldo. Cualquier recubrimiento refractario detrás del recubrimiento de cara caliente.

Recubrimiento monolítico. Recubrimiento de un solo componente.

Recubrimiento multi-capas. Sistema refractario consistente de dos o más capas del mismo refractario.

Regulador de tiro. Dispositivo para introducir una resistencia variable para regular el flujo volumétrico de gases de combustión o aire.

Regulador de tiro multi-hoja. Es un tipo de regulador de tiro consistente de varias hojas o álabes cada una pivoteada alrededor de su centro y conectadas juntas para una operación simultánea.

Regulador de tiro tipo mariposa. Es un tipo de regulador de tiro consistente en una sola hoja pivoteada alrededor de su centro.

Relación de corrosión. La reducción en el espesor de material debido al ataque químico del fluido de proceso o gases de combustión, o ambos, expresado en milímetros por año.

Relación de extensión. La relación de la superficie externa total expuesta a la superficie externa del tubo desnudo.

Resistencia por ensuciamiento. Un factor utilizado para calcular el coeficiente global de transferencia de calor. La resistencia por ensuciamiento interno debe ser utilizada para el cálculo de la temperatura de metal máxima del tubo para diseño. La resistencia por ensuciamiento externo es utilizada para compensar las pérdidas de comportamiento debido a los depósitos sobre la superficie externa de los tubos o superficie extendida.

Retenedor de tubo. Accesorio usado para restringir que los tubos horizontales de radiación se levanten de los soportes intermedios de tubos durante la operación.

Retorno. El término común para un accesorio de 180° fundido o forjado que conecta dos o más tubos.

Retorno tipo tapón. Retorno de fundición, provisto con una o más aberturas con el propósito de inspección, limpieza mecánica de los tubos, o drenaje.

Sección de convección. Es la zona del calentador en la cual la transferencia de calor a los tubos primariamente es por convección.

Sección de radiación. La zona del calentador en la cual el calor es transferido a los tubos primariamente por radiación.

Sección escudo. Parte del serpentín que contiene aquellos tubos que escudan los tubos restantes de la sección de convección de la radiación directa.

Sección de sobrecalentamiento. Es la zona del calentador donde se logra la elevación de la temperatura, arriba de la saturación, del fluido manejado.

Sistema refractario. La envolvente metálica del calentador, ladrillo, refractario y aislamiento, incluyendo el anclaje para refractario.

Soplador de hollín. Es un dispositivo para remover el hollín u otro depósito de la superficie absorbente de calor en la sección de convección. Donde el vapor es el medio que se usa normalmente para el soplado.

Soporte de tubos o espejos de tubos. Cualquier dispositivo para soportar tubos.

Superficie extendida. Se refiere a la superficie de transferencia de calor en la forma de aletas o birlos, unidas a la superficie absorbente de calor en los tubos del serpentín.

Techo. Parte de la sección de radiación plana o inclinada opuesta al piso.

Temperatura de cara caliente. La temperatura de la superficie del refractario en contacto con los gases de combustión o aire de combustión calentado. La temperatura de cara caliente es usada para determinar el espesor requerido de refractario o aislamiento y el calor transmitido. La temperatura de diseño es utilizada para especificar la temperatura de servicio de los materiales refractarios.

Temperatura de diseño. Es la temperatura que sirve, junto con el tipo de material, para determinar el esfuerzo de trabajo del material de los componentes del calentador a fuego directo.

Temperatura de servicio. Es la condición de temperatura a la que operará cada uno de los componentes de los calentadores para las condiciones de operación especificadas.

Temperatura en el puente. Es la temperatura de los gases de combustión a la salida de la zona de radiación.

Terminal. Conexión bridada o soldada de un serpentín, proveyendo la entrada y salida del fluido.

Tiro. La presión negativa (vacío) del aire y/o gases de combustión medidos en cualquier punto del calentador, expresado en pascales (Pa).

Tubería de enlace. La tubería de interconexión entre dos secciones del serpentín del calentador.

APENDICE N° 2:

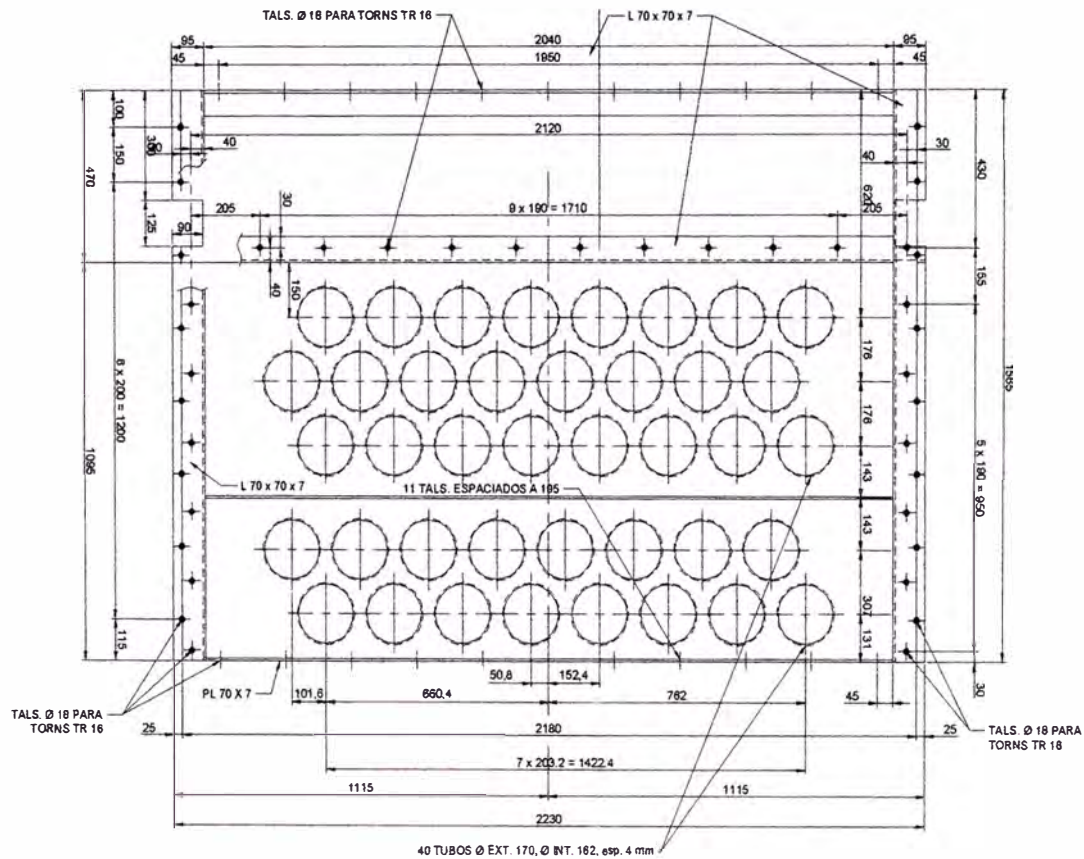
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

N	Newton
K	Temperatura Kelvin
°C	Grados Celsius
g	Gramos
m	Metros
mm	Milímetros
s	Segundos
MW	Megawatt
kW	Kilowatt
kJ	Kilojoules
Pa	Pascales
MPa	Megapascales
kPa	Kilopascales
A	Amperes
V	Voltaje
mA	Miliamperes
mPa	Milipascales
h	Horas
Gcal	Gigacalorías
kcal	Kilocalorías
ppmv	Partes por millón volumétricas
UHC	Hidrocarburos no quemados

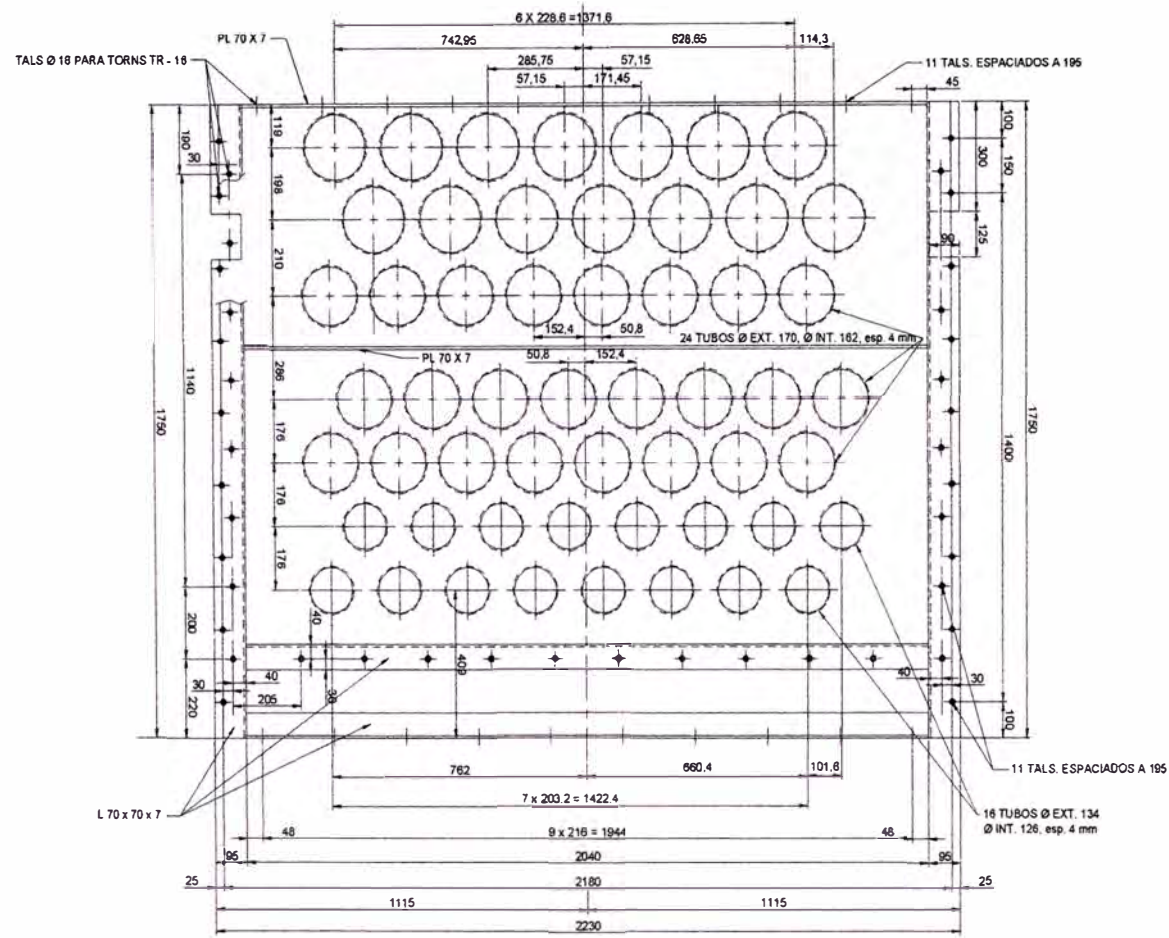
APENDICE N° 3:

PLANOS DE ZONA CONVECTIVA



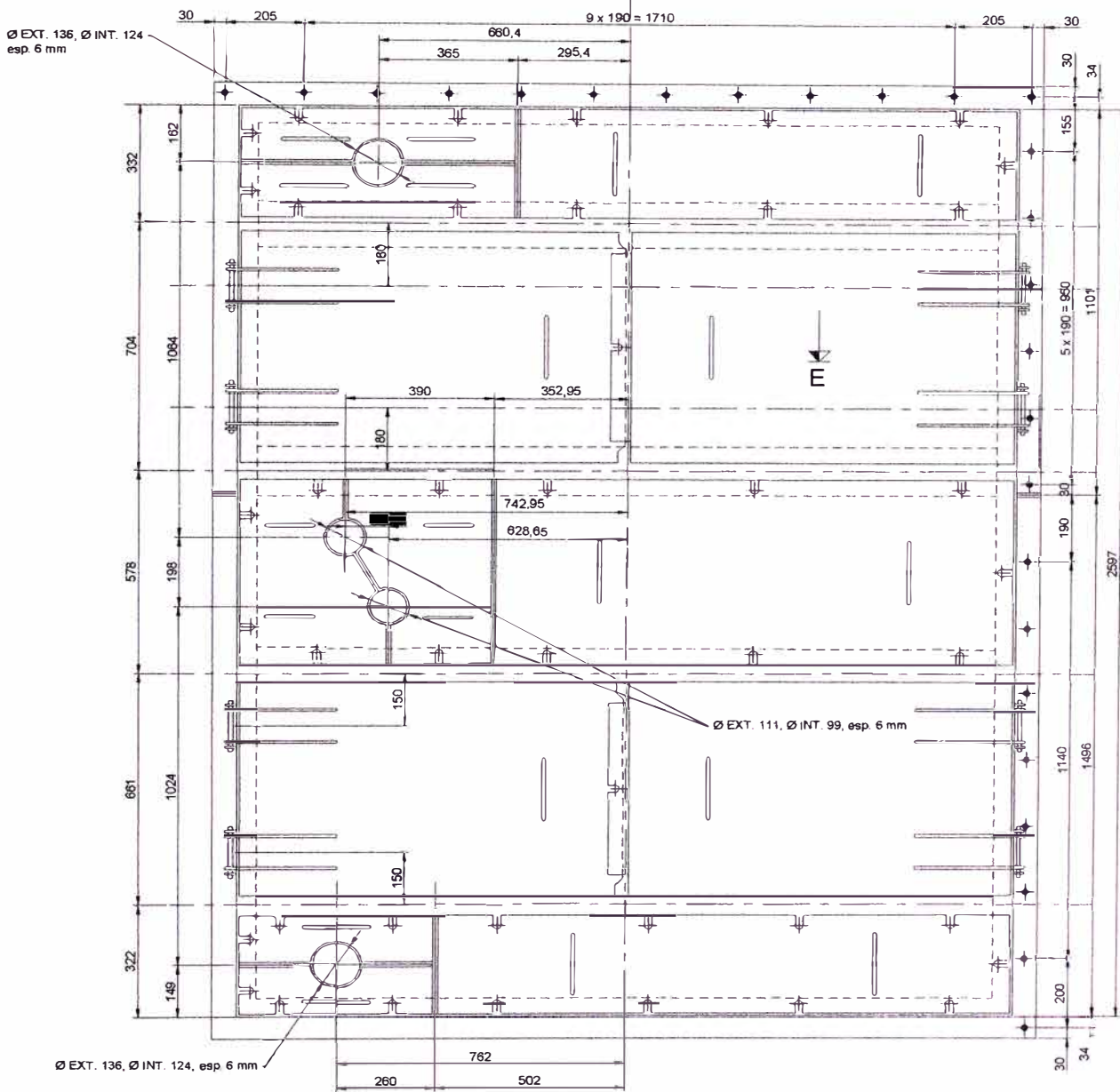
PLACA TIPO II - A

Diseñado por: J.M.G	Revisado por: V.F.P.	Aprobado por: V.F.P.	Fecha: 08/08/2010	Fecha de Creación: 02/08/2010
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA BACHILLER JUAN M. MONZON GUERRERO		PLACA_PORTATUBOS		
		PARTE_SUPERIOR	Edición 2.0	Nº de Plano 1 / 2



PLACA TIPO II - B

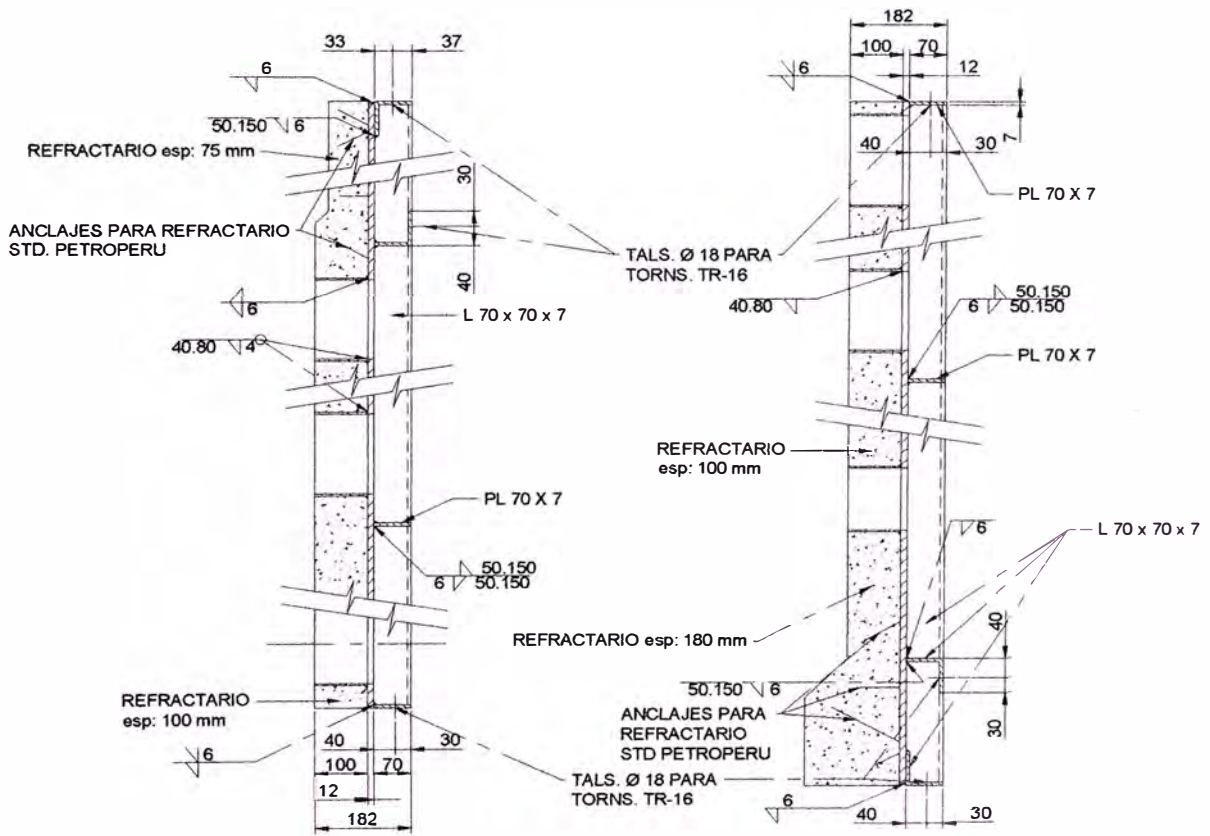
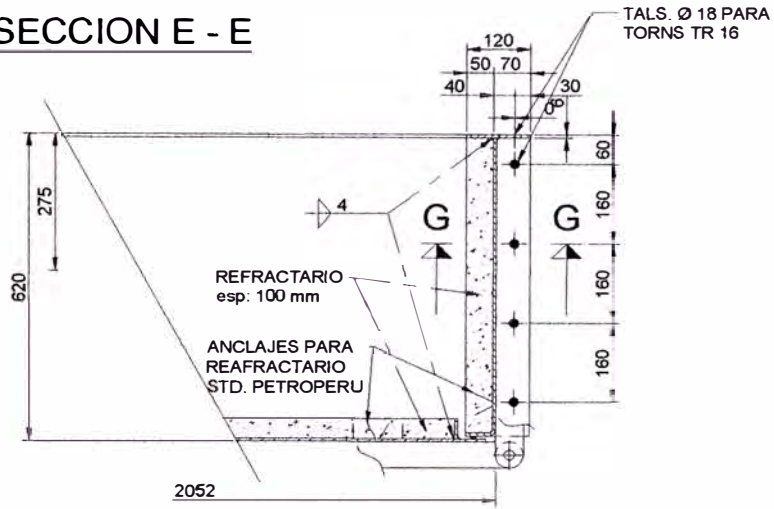
Diseñado por: J.M.G	Revisado por: V.F.P.	Aprobado por: V.F.P.	Fecha: 08/08/2010	Fecha de Creación: 02/08/2010
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA BACHILLER JUAN M. MONZON GUERRERO		PLACA_PORTATUBOS		
		PARTE_INFERIOR	Edición 2.0	Nº de Plano 1 / 2



CAJON VISTO POR EL EXTERIOR DESDE EL EJE 180°

Diseñado por: J.M.G	Revisado por: V.F.P.	Aprobado por: V.F.P.	Fecha: 08/08/2010	Fecha de Creación: 02/08/2010
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA BACHILLER JUAN M. MONZON GUERRERO		CAJA_DE_CABEZALES		
		PUERTAS	Edición 2.0	N° de Plano 1 / 2

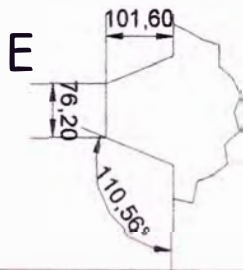
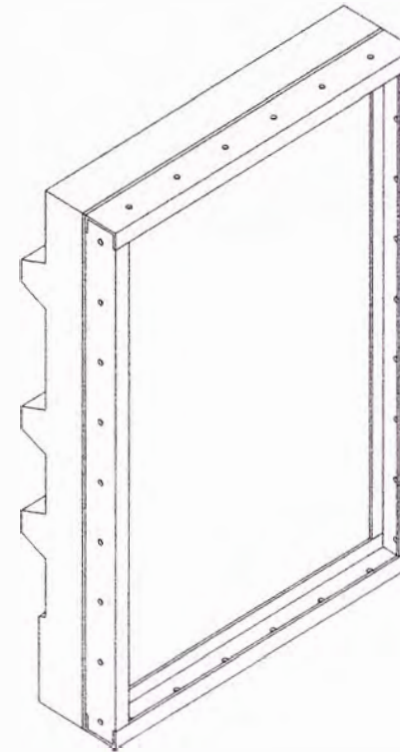
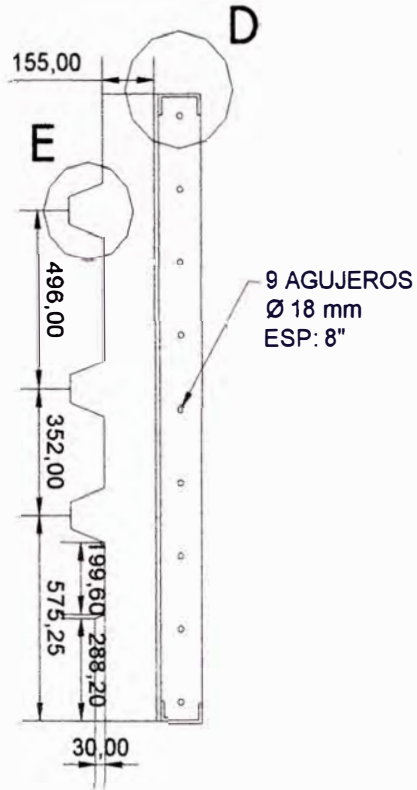
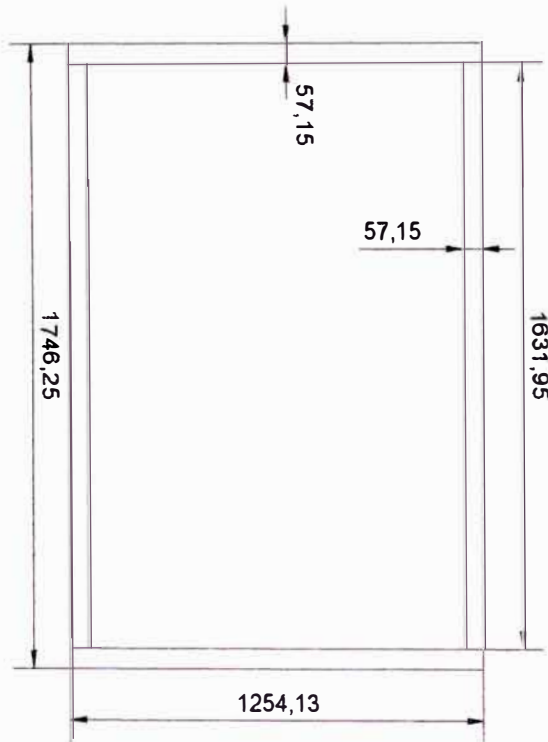
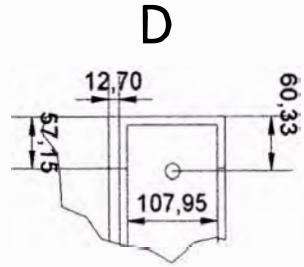
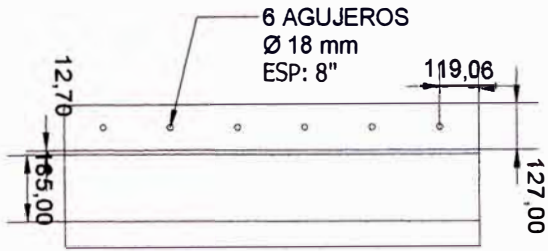
SECCION E - E



SECCION C - C

SECCION D - D

Diseñado por: J.M.G	Revisado por: V.F.P.	Aprobado por: V.F.P.	Fecha: 08/08/2010	Fecha de Creación: 02/08/2010
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA BACHILLER JUAN M. MONZON GUERRERO		CONFIGURACION_DE_REFRACTARIO		
		CORTES	Edición 2.0	N° de Plano 1 / 2



Diseñado por: J.M.G	Revisado por: V.F.P.	Aprobado por: V.F.P.	Fecha: 08/08/2010	Fecha de Creación: 02/08/2010
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA INFORME DE SUFICIENCIA BACHILLER JUAN M. MONZON GUERRERO		PANEL_CON_REFRACTARIO		
		PANEL_CENTRAL	Edición 2.0	N° de Plano 1 / 2

APENDICE N° 4:

ESPECIFICACIONES – NORMA API 560

NORMA API 560 - CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

Consideraciones de Diseño Mecánico

El diseño de la zona convectiva incorporará un espacio para la futura incorporación de dos filas de tubos, así como placas portatubo intermedia y en los extremos. Los sopladores de hollín se colocaran en base a la adición futura de tubos. Los agujeros en las placas portatubos de los extremos serán bloqueados para evitar la fuga de los gases de combustión.

Los calentadores cilíndricos y rectangulares de serpentín vertical serán diseñados con una relación altura - ancho máxima de 2,75, donde altura es la altura de la sección radiante (cara refractaria interior) y el ancho es la distancia entre las líneas centrales de los tubos.

Los calentadores de quemado en piso de tubos horizontales tendrán una relación altura - ancho máxima de 2,75, donde la altura es la distancia desde el piso hasta el techo del refractario o los tubos sobre la línea central de la cámara, y el ancho es la distancia entre las paredes refractarias.

Las secciones escudo tendrá por lo menos tres filas de tubos desnudos. A excepción de la primera fila escudo, las secciones de convección se diseñarán con ménsulas para minimizar la desviación de los gases de combustión de la superficie de calentamiento.

Los tubos de radiación serán instalados con un espacio mínimo desde el refractario o aislamiento a la línea central del tubo de 1,5 veces el diámetro nominal del tubo, con un espacio no menor a 100 milímetros (4 pulgadas) desde el refractario o aislamiento. Para tubos horizontales de radiación, el mínimo espacio desde el piso refractario al diámetro exterior del tubo será no menor a 300 milímetros (12 pulgadas).

La configuración del calentador permitirá el reemplazo de tubos individuales u horquillas sin interferir con los tubos adyacentes.

Las secciones de convección con una longitud de tubo efectiva superior a 12,2 metros (40 pies) tendrá más de una toma de gases de combustión hacia la chimenea.

* Los requerimientos mínimos de los materiales expuestos al ataque por hidrógeno a altas temperaturas y presiones se deben basar en resultados de pruebas experimentales y datos reales obtenidos de plantas en operación, respaldados en publicaciones de organismos reconocidos, donde se establezcan los límites prácticos de operación de los aceros para este servicio. Para la selección de los materiales se deben utilizar las condiciones más críticas de presión y temperatura para el ataque por hidrógeno.

Serpentín de tubos.

Los espesores de tubos para el serpentín se deben determinar de acuerdo con el procedimiento establecido en el estándar ISO 13704 última edición/API 530 última edición. El límite práctico para espesores mínimos para tubos nuevos debe ser como se especifica en el estándar ISO 13704 última edición/API 530 última edición. Para materiales no incluidos en el estándar ISO 13704 última edición/API 530 última edición, los espesores de pared de tubos, se deben determinar de acuerdo con el procedimiento establecido en el estándar ISO 13704 última edición/API 530 última edición, usando valores de esfuerzos certificados por el fabricante de los materiales y aprobados por el comprador para 100 000 horas de servicio como mínimo.

Todos los tubos deben ser fabricados sin costura preferiblemente en longitudes continuas. Se permite una soldadura intermedia en los tubos, si estos no pueden ser suministrados en

su longitud total, dicha soldadura se debe inspeccionar totalmente y debe tener un acabado interno que permita el uso de equipo para limpieza mecánica. La soldadura eléctrica no está permitida para soldaduras intermedias. El espesor promedio de los tubos suministrados deben estar en concordancia con las tolerancias de las ASTM de tal forma que el espesor mínimo requerido es el que se está suministrando.

Cuando los tubos de la sección escudo y la sección de radiación correspondan al mismo servicio, los tubos de la sección escudo expuestos a la radiación de flama deberán ser del mismo material y espesor que los tubos de radiación conectados.

Cuando la tubería de enlace sea externa esta debe ser de la misma metalurgia que la tubería precedente de convección y cuando la tubería de enlace sea interna esta debe ser de la misma metalurgia que la tubería de radiación. La unión de materiales diferentes debe ser bridada y no sujetas a la radiación directa o flujo de gases de combustión, no se aceptan uniones soldadas de materiales disímiles.

Los tubos cuando se proyecten a la caja de cabezales deben extenderse como mínimo 150 mm, en posición fría, más allá de la cara de la placa portatubos de los cuales 100 mm deben estar libres.

La medida del tubo (diámetro exterior en pulgadas) debe ser seleccionada entre siguientes medidas: 2.375; 2,875; 3.50; 4.00; 4.50; 5.563; 6.625; 8.625 o 10.75.

Superficie extendida.

La superficie extendida en zonas de convección puede ser empitonada con birlos, donde cada perno es unido al tubo por soldadura de arco o de resistencia; o aleteada, donde el espiral de aletas esta soldado en forma continua al tubo.

La metalurgia de la superficie extendida se debe seleccionar en base a la temperatura máxima calculada de perno o aleta, la cual no debe exceder los valores siguientes:

Tabla 1. Materiales de superficies extendidas.

Material del perno	Temperatura máxima del birlo		Material de la aleta	Temperatura máxima de la aleta	
	°C	°K		°C	°K
Acero al Carbono	510	783	Acero al Carbono	454	727
2 ¼ Cr – Mo, 5 Cr – ½ Mo	593	866	---	---	---
11 - 13 Cr	649	922	11 - 13 Cr	593	866
Acero inoxidable 18 Cr – 8 Ni	815	1088	Acero inoxidable 18 Cr – 8 Ni	815	1088
Acero inoxidable 25 Cr – 20 Ni	982	1255	Acero inoxidable 25 Cr – 20 Ni	982	1255

Ref.: ISO 13705:2001/API 560 tercera edición mayo del 2001.

El tipo y las dimensiones de la superficie extendida de los tubos de convección en función del tipo de combustible utilizado deben cumplir con la especificación siguiente:

Tabla 2. Dimensiones de superficies extendidas.

Combustible	Birlos		Aletas		
	Diámetro mínimo	Altura máxima	Espesor normal mínimo	Altura máxima	Densidad máxima
	mm	mm	mm	mm	Aletas/m
Combustóleo	12.7	25.4	0.05	19.1	118
Gas	12.7	25.4	1.3	25.4	197

Ref.: API 560 tercera edición mayo del 2001.

Todas las aletas para tubos deben ser sólidas soldadas por alta frecuencia y en forma continua al tubo.

d) Los birlos de los tubos deben ser cilíndricos y soldados por resistencia de frecuencia estándar.

e) Todos los materiales deben estar de acuerdo a la especificación ASTM o equivalente.

Cabezales

Los cabezales deben ser de la misma metalurgia de los tubos.

Los cabezales serán retornos tipo tapón o tipo U soldados, dependiendo del servicio y las condiciones de operación.

El espesor de la pared de los cabezales especificados incluirá una tolerancia para corrosión y erosión. Esta tolerancia no debe ser menor que las usadas para los tubos.

Retornos tipo U.

Retornos tipo U se deben utilizar para las siguientes condiciones.

_ En fluidos limpios, donde no se espera la formación de coque o ensuciamiento de los tubos.

_ Donde las fugas sean un riesgo.

_ Donde se prevean instalaciones para el decoquizado por aire-vapor de los tubos del calentador.

Para serpentines horizontales, los retornos tipo U se deben localizar en caja de cabezales, y se deben seleccionar para la misma presión de diseño que el tubo al que se conectan, y para una temperatura de diseño igual a la temperatura máxima de operación del fluido en ese tubo, más un mínimo de 303 K (30° C).

Para serpentines verticales los retornos tipo U se deben localizar dentro de la sección de radiación y deben ser seleccionados para la misma presión de diseño que el tubo al que se conectan y para una temperatura de diseño igual a la temperatura máxima de pared en ese tubo y el espacio mínimo del retorno a la pared debe ser de 300 mm. Los retornos tipo U deben ser por lo menos del mismo espesor de pared que los tubos a los que se conectan, o mayores.

Independientemente de la ubicación de los retornos soldados el diseño del calentador incorporara algún medio que permita convenientemente retirar y reemplazar los tubos y retornos.

No se aceptan retornos con costura longitudinal.

Curvas de Retorno

Las curvas de retorno dentro de la cámara de fuego deben ser seleccionados para la misma presión de diseño y temperatura que los tubos a los que se conectan. Las curvas de retorno dentro de la caja de cabezales deben ser seleccionados para la misma presión que los tubos a los que se conecta y para una temperatura igual a la máxima temperatura de operación del fluido mas la tolerancia de temperatura especificada en la hoja de datos típicamente un mínimo de 30 °C.

Independientemente de la ubicación de las curvas de retorno el diseño del cabezal debe incorporar alguna manera para permitir la remoción y reemplazo de los tubos y de las curvas de retorno.

Las conexiones soldadas longitudinalmente no están permitidas.

Tubería, terminales y cabezales múltiples.

Todas las bridas deben ser de cuello soldable cara realzada de 2069 kPa (300 psi) de rango mínimo.

Tubería, terminales y cabezales colectores y de distribución externos a la envolvente del calentador se deben diseñar de acuerdo al código ASME B31.3 última edición, o equivalente.

No se aceptan conexiones roscadas para el manejo de hidrocarburos.

Cuando se requieran drenajes en punto bajo o venteos en puntos altos, ellos deben ser accesibles desde fuera de la envolvente metálica del calentador.

Los colectores múltiples y tuberías externas deben ser localizadas de tal modo que no bloqueen el acceso para la remoción de tubos individuales u horquillas.

d) Los cabezales colectores y de distribución localizados en caja de cabezales se deben seleccionar para la misma presión de diseño de los tubos a los que se conecta, y para una temperatura de diseño igual a la temperatura máxima de operación del fluido a esa localización, más un mínimo de 303 K (30° C).

Soportes de tubos.

Todos los calentadores con tubos verticales se deben soportar en el extremo superior y guiar en el extremo inferior, y las terminales de entrada y salida se deben localizar por la parte superior de la sección de radiación, excepto para casos especiales donde se requiera que las salidas sean por la parte inferior del calentador, tales como hornos de pirolisis y reformadores con peines rígidos con cabezales de distribución. Cuando la longitud total de los tubos exceda los 13.7 m y el quemado sea de un solo lado, se deben colocar guías adicionales.

La temperatura de diseño de los soportes y guías debe ser igual a la máxima temperatura de los gases de combustión en contacto con ellos, a la condición de diseño del calentador, sin considerar los efectos del recubrimiento refractario aplicado para protección contra corrosión.

Todos los soportes y guías de tubos expuestos al calor radiante o gases de combustión, excepto los soportes extremos de los tubos (espejos de tubos), deben ser, como mínimo, de fundición de aleación 25%Cr-20%Ni de acuerdo a la especificación ASTM-A-297-HK o equivalente. Como alternativa, pueden ser usadas fundiciones de una mejor aleación tales como 60%Cr-40%Ni o 50%Cr-50%Ni para condiciones más severas de corrosión, lo cual debe ser debidamente justificado en forma técnica.

Los soportes extremos de tubos (espejos de tubos) deben ser de acero estructural A-36 o equivalente. Cuando la temperatura de diseño exceda de 698 K (425°C) debe utilizarse aceros aleados.

Para las camas futuras de tubos se deben incluir los espejos y soportes intermedios de fundición necesarios. Los agujeros de los espejos extremos se deben tapar con placa punteada y concreto refractario de un peso específico de 879 kg/m³ promedio para prevenir la fuga de gases de combustión.

Las camisas de los espejos extremos, deben ser de acero inoxidable 18Cr – 8Ni.

Todos los materiales deben estar de acuerdo con la especificación ASTM o equivalente.

Movimientos, Fuerzas y Momentos máximos permisibles en boquillas.

Las terminales y cabezales colectores y de distribución, se deben diseñar para aceptar la acción

simultánea de las fuerzas, momentos y desplazamientos siguientes.

Tamaño del tubo		Fuerzas y momentos máximos permisibles en terminales					
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
(mm)	(pulg)	N	N	N	Nm	Nm	Nm
51	2	445	890	890	475	339	339
76	3	667	1334	1334	610	475	475
101	4	890	1779	1779	813	610	610
127	5	1001	2002	2002	895	678	678
152	6	1112	2224	2224	990	746	746
203	8	1334	2669	2669	1166	881	881
254	10	1557	2891	2891	1261	949	949
305	12	1779	3114	3114	1356	1017	1017

Fuerzas y momentos máximos permisibles en terminales.

Nota: El eje "x" corresponde al eje axial. Ref.: ISO 13705/API 560 tercera edición mayo 2001.

Tabla 3. Fuerzas y momentos máximos permisibles en terminales.

Refractario.

El diseño debe considerar que la temperatura externa de la placa envolvente no exceda de 355 K (82° C) a una temperatura ambiente de 300 K (27° C) para una velocidad de viento de cero, excepto para el caso del uso de fibra cerámica donde la temperatura externa de la placa envolvente no debe exceder de 333 K (60° C).

El piso de radiación no debe exceder los 364 K (91° C) para las mismas condiciones de temperatura ambiente y velocidad de viento.

El vendedor debe proporcionar las fichas técnicas de los materiales aislantes y refractarios utilizados, la cual debe incluir la conductividad térmica, composición química, resistencia a

la compresión, porcentaje de cambio lineal permanente, peso específico colocado en seco, temperatura máxima recomendada, entre otros.

El diseño del recubrimiento refractario debe permitir la expansión o contracción de todas sus partes.

Todos los materiales refractarios deben tener un contenido máximo de hierro de 1.5%.

El vendedor debe proporcionar el procedimiento de secado del concreto refractario incluyendo su curva de

secado específica y la protección contra el desarrollo de la hidrólisis alcalina.

Se deben proveer juntas de expansión de 13 mm de espesor tanto en las direcciones verticales como horizontales a cada 3 m., en las uniones de paredes, pozos de fuego de quemadores, puertas y mirillas.

Cuando se usen recubrimientos multicapa o multicomponente, las juntas no deben ser continuas a través de todo el recubrimiento.

h) Todos los materiales deben estar de acuerdo con la especificación ASTM o equivalente.

Materiales del Refractario

Los calentadores se deben aislar usando los siguientes materiales.

El piso de todos los calentadores se debe aislar con un ladrillo de arcilla refractaria de alta calidad en la cara caliente con un módulo de ruptura mínimo de 3.45 MPa, un cono pirométrico equivalente de 33 ½, de 63 mm de espesor, y concreto refractario de respaldo consistente en una mezcla de Lumnita, Haydita y Vermiculita en una proporción en volumen de L:H:V 1:2:4 y/o un material equivalente de acuerdo a las temperaturas de diseño. En caso de que el concreto sea instalado en taller se deben colocar anclas de acero inoxidable 18Cr – 8Ni o equivalente, en un arreglo de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Las paredes escudadas por tubos de la sección de radiación cuando se queme gas o combustóleo, se deben aislar con concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita, Haydita y Vermiculita en una proporción en volumen de L:H:V 1:2:4 y/o un material equivalente de acuerdo a las temperaturas de diseño, con anclas de acero inoxidable 18Cr – 8Ni y/o un material equivalente, en un arreglo de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Las paredes que no están escudadas por tubos en la sección de radiación cuando se queme gas o combustóleo y se tenga una temperatura de servicio mayor a 1311 K (1038° C) y quemado vertical, se deben aislar con una pared compuesta de ladrillo de arcilla refractaria de alta calidad en la cara caliente con un módulo de ruptura mínimo de 3.45 MPa, un cono pirométrico equivalente de 33 ½, de 63 mm de espesor, y concreto refractario de respaldo y como recubrimiento de respaldo se puede utilizar una combinación de los siguientes materiales de acuerdo a las temperaturas de diseño, para cumplir con el requerimiento de temperatura de cara fría: concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita, Haydita y Vermiculita en una proporción en volumen de L:H:V 1:2:4 y/o un material equivalente, y/o ladrillo aislante con una densidad de 0.54 g/cm³ y/o materiales equivalentes. El sistema de anclaje debe proporcionar un soporte independiente de cada capa del recubrimiento para techos y posiciones sobre cabeza e inclinadas. Cuando la temperatura de servicio sea menor o igual a 1311 K (1038° C), las paredes no escudadas por tubos en la sección de radiación se deben aislar con concreto refractario aislante consistente de una mezcla de Lumnita, Haydita y Vermiculita en una proporción en

volumen de L:H:V 1:2:4 y/o un material equivalente, con anclas de acero inoxidable 18Cr – 8Ni y/o un material equivalente, con un arreglo de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Las paredes laterales de la sección de convección cuando se quemé gas o combustóleo, se deben aislar con concreto refractario, consistente de una mezcla de Lumnita, Haydita y Vermiculita en una proporción en volumen de L:H:V 1:2:4 y/o un material equivalente de acuerdo a las temperaturas de diseño, con anclas de acero inoxidable 18Cr – 8Ni y/o un material equivalente con un arreglo de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Todos los ductos que manejen gases de combustión después de la salida de la sección de convección de los calentadores, incluyendo los ductos de los sistemas de precalentamiento de aire, deben ser aislados con concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita y Haydita en una proporción en volumen de L:H 1:4 y/o un material equivalente de acuerdo a las temperaturas de diseño, con anclas individuales de acero al carbono en un arreglo de triangulo equilátero de 1.75 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Los espejos de tubos deben ser aislados del lado de los gases de combustión con concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita y Haydita en una proporción en volumen de L:H 1:4 y/o un material equivalente, con anclas de acero inoxidable 18Cr – 8Ni y/o un material equivalente en un arreglo de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas, teniendo un espesor mínimo de 75 mm para la sección de convección y 125 mm para la sección de radiación.

Todas las chimeneas deben ser aisladas con concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita y Haydita en una proporción en volumen de L:H 1:4 y/o un material equivalente, de 38 mm de espesor, con un sistema de anclaje de acero al carbono a base de malla cuadrada soldada eléctricamente de 50mm x 50mm y anclas individuales para la malla en un arreglo en forma de triangulo equilátero de 6 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas. Para chimeneas a nivel de piso terminado el recubrimiento refractario debe prolongarse hasta el cenicero el cual se localiza debajo de la brida de conexión de los ductos.

Las cajas de cabezales se deben aislar con concreto refractario aislante consistente en una mezcla de Lumnita y Haydita en una proporción en volumen de L:H 1:4 y/o un material equivalente de acuerdo a las temperaturas de diseño, con anclas de acero al carbono en un arreglo en forma de triangulo equilátero de 2 veces el espesor del refractario de distancia entre anclas.

Los materiales refractarios para los pozos de fuego deben ser de concreto refractario de alta resistencia a la erosión con un contenido mínimo 85% de alúmina y ser de liga fosfórica, y esta debe venir segmentada para su armado en campo sin cemento refractario, así como garantizar una vida útil de dos años como mínimo.

Se deben construir paredes divisorias con choque de flama en ambos lados, o de un solo lado, de ladrillo refractario de alta densidad, con un límite de temperatura mínimo de 1811 K (1538° El ladrillo se puede colocar en seco o unido con mortero. Todas las juntas de expansión, se deben rellenar con fibra cerámica a granel perfectamente compactada, del mismo rango de temperatura de servicio que el material del ladrillo refractario.

Se debe aplicar un recubrimiento bituminoso de 0.3 mm de espesor en la cara interna de la placa envolvente para una temperatura mínima de servicio de 350 K (77° C) para prevenir la corrosión, excepto para el caso donde se utilice un recubrimiento monolítico de concreto

refractario aislante. Las anclas para refractario se deben instalar antes de aplicar el recubrimiento bituminoso.

Los calentadores con tubos verticales localizados al centro de la sección de radiación con quemado lateral y que quemen solamente gas deben utilizar en la sección de radiación módulos de fibra cerámica de 128 kg/m³ de densidad como mínimo, para una temperatura de servicio de 533 K (260°C) mayor que la temperatura de cara caliente calculada, con anclas individuales de acero inoxidable 18Cr – 8Ni o un material equivalente.

Todas las juntas de expansión alrededor de los pozos de fuego de los quemadores se deben rellenar con fibra cerámica a granel perfectamente compactada del mismo rango de temperatura de servicio que el material refractario de los pozos de fuego.

Los ductos de los sistemas de precalentamiento de aire que manejen aire caliente, los precalentadores de aire y el ventilador de tiro inducido deben aislarse externamente con lana mineral de pH neutro con cubierta metálica y anclas.

Acero Estructural.

Todas las formas de los perfiles estructurales deben estar respaldados por especificaciones de productos comerciales de la industria del acero.

La construcción debe ser a base de paneles soldados, para reducir al mínimo posible la filtración de aire.

Los techos estructurales externos deben contar con caída natural y drenes para evitar encharcamientos.

Estructura.

Todas las cargas de los tubos y cabezales deberán ser soportadas por la estructura de acero y no se deberán transmitir al refractario.

La estructura de acero deberá ser diseñada para permitir la expansión lateral y vertical de las partes del calentador.

La cubierta de la caja de cabezales deberá tener un espesor de plancha de 5 mm (3/16 de pulgada) como mínimo, la cual será reforzada contra deformación o pandeo. Cuando la envolvente es usado para resistir esfuerzos de deformación, deberá tener 6 milímetros (1/4 pulgada) como mínimo de espesor. Las planchas que conforman el piso y techo de la zona radiante deberán tener 6 milímetros como mínimo de espesor.

La envolvente del calentador deberá ser sellada por soldadura externamente para prevenir filtraciones de aire o agua.

El diseño del techo plana deberá permitir el escurrimiento del agua de lluvia. Esto se puede lograr por una disposición de los elementos estructurales y aberturas de drenaje, por inclinación del techo o con un techo secundario para protección contra la intemperie. Cuando las cubiertas en pendiente son suministrados para protección contra la intemperie, los aleros y gabletes deberán impedir la entrada de la lluvia arrastrada por el viento.

Los calentadores con tubos horizontales que tienen retornos interiores, el hogar deberá tener paneles frontales removibles o paneles en las paredes laterales para proveer acceso a los retornos soldados.

Caja de cabezales, puertas y mirillas.

Todos los retornos externos al calentador se deben alojar en cajas de cabezales herméticas.

Cada caja de cabezales deberá permitir la expansión total de los tubos. Un espacio mínimo de 75 milímetros (3 pulgadas) deberá ser previsto entre el refractario de las puertas de la caja y los cabezales en posición de calor.

Las cajas de cabezales que encierran retornos tipo tapón deberán tener puertas con bisagras o paneles frontales empernados.

Las cajas de cabezales incluyendo las puertas, deberán tener como mínimo 5 milímetros de espesor de plancha reforzada contra deformación o pandeo. La caja de calentadores deberá ser desmontable.

Las cajas deben ser removibles desde los espejos de tubos y deben tener orejas de izaje permanentes en cada sección.

Cuando la caja de cabezales tiene una longitud mayor de 1.5 metros (5 pies) o cuando es especificado por el comprador, deberá ser prevista una partición horizontal en la caja de cabezales de convección. El máximo espaciamiento es de 1.5 metros.

Dos puertas de acceso con una abertura libre mínima de 600 x 600 milímetros (24 x 24 pulgadas) serán previstas para cada cámara radiante de un calentador rectangular o del tipo cabina.

Una puerta de acceso con una abertura libre mínima de 450 x 450 milímetros (18 x 18 pulgadas) será prevista en el piso de los calentadores cilíndricos verticales. Una puerta de acceso empernada y sellante también será prevista en cámaras de aire por debajo del acceso en el piso. Cuando no hay espacio disponible, el acceso a través por un terminal para quemadores es aceptable.

Una puerta de acceso con una abertura libre mínima de 600 x 600 milímetros (24 x 24 pulgadas) o 600 milímetros (24 pulgadas) de diámetro se dispondrá en la chimenea o conducto de gases para acceso al regulador de tiro y a la zona convectiva.

Una puerta removible con una abertura libre mínima de 450 x 600 milímetros (18 x 24 pulgadas) será acondicionada en el techo de cada cámara radiante de calentadores tubos vertical.

Puertas de observación y mirillas serán previstas para mirar que todos los tubos radiantes y las llamas de los quemadores operen correctamente.

Se deben suministrar empaques en todas las juntas de las cajas de cabezales para sellar. Donde los serpentines entren o salgan de las cajas de cabezales, las aberturas alrededor del serpentín se deben sellar con fibra cerámica o con mangas de material refractario selladas herméticamente.

En todos los calentadores se deben suministrar puertas para remover los tubos.

Materiales

Los materiales usados en la fabricación de calentadores a fuego directo serán acorde con las siguientes especificaciones:

- Perfiles estructurales, ASTM A 36, A 242, A 572
- Planchas, ASTM A 36, A 283 Grade C, A 242, or A 572.
- Pernos estructurales, ASTM A 307
- Pernos de alta Resistencia, ASTM A 325 or ASTM A 490.
- Tubos para columnas y plumas, ASTM A 53 Grade B.
- Chimeneas y conducto de gases, ASTM A 36, A 242.

°C	°F	ASTM A - 36				ASTM A - 242				ASTM A - 572			
		Fy		E		Fy		E		Fy		E	
		MPa	(x10 ³ psi)	MPa	(x10 ³ psi)	MPa	(x10 ³ psi)	MPa	(x10 ³ psi)	MPa	(x10 ³ psi)	MPa	(x10 ³ psi)
21	70	248	36.0	200	29.0	290	42.0	192	27.9	345	50.0	206	30.0
93	200	227	32.9	201	29.2	272	39.5	191	27.7	333	48.3	205	29.7
149	300	208	30.2	197	28.6	267	38.7	189	27.4	320	46.3	202	29.3
204	400	200	29.0	193	28.0	261	37.8	186	27.0	293	42.5	199	29.0
260	500	192	27.8	189	27.4	254	36.8	182	26.4	282	40.8	194	28.3
316	600	183	26.6	185	26.8	246	35.7	177	25.7	268	38.8	188	27.4
371	700	175	25.4	180	26.1	238	34.5	171	24.8	262	38.0	184	26.7
427	800	161	23.4	176	25.5	229	33.2	161	23.4	249	36.0	173	25.1

Limite de elasticidad y Modulo de Elasticidad for Structural Steel

Chimeneas y ductos de vapor

Todas las chimeneas deben ser fabricadas de placa de acero y del tipo auto soportada con una altura mínima de 32 m., sobre el nivel de piso terminado.

Las chimeneas deberán ser empernadas a la estructura de soporte.

Las chimeneas deben ser de construcción soldada. Las uniones de empalme en campo en chimeneas requieren soldadura de penetración completa. El conducto de gases puede ser de construcción soldada o empernada.

Los accesorios externos a la chimenea deberán ser sellados por soldadura.

Chimeneas y ductos de gases montados en concreto debe ser diseñadas para evitar que las temperaturas de hormigón excedan los 149 ° C (300 ° F).

Las conexiones entre chimeneas y ductos de gases de combustión no deberán ser soldados.

La parte superior del recubrimiento de la chimenea deberá estar protegido para prevenir penetración de agua entre la plancha del casco de la chimenea y el recubrimiento refractario.

Todas las aberturas y conexiones de la chimenea y conductos de gases serán sellados para prevenir fuga de aire o gases de combustión.

La tolerancia por corrosión debe ser de 3 mm para las chimeneas.

Fabricación

Todas las superficies a soldar deberán estar libres de escamas, incrustaciones, escala, aceite, grasa, suciedad y otros agentes perjudiciales. Las operaciones de soldadura deberán ser protegidas del viento, lluvia y otras condiciones meteorológicas que pueden afectar a la calidad de la soldadura.

El calentador de acero será fabricado de acuerdo con las disposiciones aplicables de los siguientes códigos y especificaciones:

AISC Especificación para diseño, Fabricación y Erección de Construcciones de Acero Estructural.

AWS D1.1 Código de Soldadura Estructural.

El serpentín será fabricado de acuerdo a las disposiciones aplicables del ASME B31.3 for piping, Capítulo V.

Los soldadores para la fabricación de la estructura de acero estarán calificados para los requerimientos de de AWS D 1.1, sección 5.

Las uniones de soldaduras entre las placas deben ser continuas, de penetración completa.

Los materiales de aporte de la soldadura deberán tener una composición química equivalente a la de los materiales base que serán unidos.

Los agujeros para pernos circulares o ranurados deberán ser perforados o taladrados.

El espesor mínimo de las cartelas será de 6 milímetros (1/4 pulgada).

Las juntas de montaje entre las placas de la envolvente y las juntas intermedias de la chimenea deberán ser soldadas. Todas las demás juntas de montaje serán empernadas.

El tamaño mínimo de pernos será de 16 milímetros (5/8 pulgada) excepto cuando el ancho de brida lo impida. En ningún caso deberá ser menor de 12 milímetros (1/2 pulgada) de diámetro.

La chimenea deberá estar lo suficientemente alineada de tal manera que al ser montada arroje una desviación máxima de 25 milímetros (1 pulgada) por cada 15 metros (50 pies) de altura.

La máxima desviación de una regla derecha aplicada sobre el casco de la chimenea no excederá de 3 milímetros (1/8 pulgada) por cada 3 metros (10 pies).

La variación entre el diámetro máximo y mínimo en cualquier sección transversal no excederá el 2 por ciento del diámetro nominal para esta sección.

La desalineación de placa en cualquier junta no excederá los 3 milímetros o el 25 por ciento del valor de espesor nominal, el menor de ellos.

Las roscas de los pernos de fijación de las hojas de los reguladores de tiro a la chimenea deberán ser rasgadas o soldada por puntos después de la instalación.

Los anclajes de refractario a la envolvente del calentador deberán ser soldados manualmente en todo el alrededor.

Todas las estructuras de acero y sub ensambles deberán ser marcados claramente con letras o números de una altura mínima de 50 milímetros (2 pulgadas) para su identificación en el campo.

Fabricación del serpentín

No se usarán anillos de respaldo instalados permanentemente.

Cada soldadura deberá ser de ancho y tamaño uniforme en toda su longitud. Toda soldadura deberá ser lisa y estar libre de escorias, inclusiones, grietas, porosidad, falta de fusión, salvo en la medida permitida por los códigos de referencia. Además, el pase de cobertura deberá estar libre de superficies irregulares, surcos profundos o valles.

La soldadura a tope deberá ser ligeramente convexa y de altura uniforme como se especifica en los códigos correspondientes. Limitaciones en la soldadura de refuerzo se aplicará a la superficie interna, así como a la superficie externa.

La reparación de soldadura se hará de acuerdo con un procedimiento de reparación aprobado por el comprador. Las reparaciones no dañan el material base adyacente.

La temperatura de precalentamiento, la temperatura entre pasadas, y el tratamiento térmico de soldadura se hará de acuerdo con las disposiciones de los códigos correspondientes.

Pintura y Galvanizado

El calentador de acero deberá ser arenado según las especificaciones SSPC SP-6 y preparado con una capa de imprimación de zinc inorgánico a un espesor mínimo de película seca de 3 milésimas de pulgada. Las superficies deben estar pintadas de conformidad con las recomendaciones del fabricante

Los ductos de los gases de combustión sin aislamiento y chimeneas deberán ser preparados con una imprimación de zinc inorgánico. La preparación de la superficie y el espesor de película seca estarán en conformidad con la recomendación del fabricante de la pintura.

A menos que se especifique lo contrario, las plataformas, barandillas, rejillas, escaleras, elementos de fijación, y soportes estructurales de iluminación deberán ser galvanizados por inmersión en caliente. El galvanizado se ajustará a las secciones correspondientes de la norma ASTM A123, A143, A153, A384, y A385. Los pernos de unión de secciones galvanizados serán galvanizados según ASTM A153 o cubierto de zinc por ASTM A164 de recubrimiento tipo LS.

Los recubrimientos internos se aplicarán de acuerdo a las prácticas recomendadas por los fabricantes, incluyendo la preparación de superficie y condiciones atmosféricas.

Refractarios y Aislamiento

Los materiales, de ser posible, se almacenarán en su envase original y deberán estar protegidos de la humedad, contaminantes atmosféricos y elementos extraños. Se mantendrán completamente secos y a la temperatura de almacenamiento recomendada por el fabricante hasta su utilización. Los ladrillos deberán estar libres de grietas, astillas, desprendimientos, u otros defectos.

Antes de la instalación del refractario todas las superficies de acero se limpiarán para quitar la suciedad, grasa, pintura, escamas sueltas, u otros elementos extraños.

El agua utilizada para la instalación de refractarios deberán ser de calidad potable y la temperatura deberá estar entre 7 ° C (45 ° F) y 32 ° C (90 ° F), a menos que el fabricante de refractarios especifique lo contrario.

Todo el material deberá ser preparado y elaborado e instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante

El mortero para construcción con ladrillo refractario deberá ser lo más fina posible. Las juntas de dilatación deberán estar libres de mortero. Ladrillo se debe colocar contra la superficie y golpeteado suavemente para asegurar una unión uniforme de no más de 1,5 milímetros (1 / 16 pulgadas) de ancho.

Anclajes con bases circulares serán soldadas por todo el alrededor. Otros anclajes serán soldados a la envolvente a lo largo por ambos lados.

Las superficies a las cuales se le aplicará refractario deberán mantenerse por encima de 7 ° C (45 ° F) y por debajo de 38 ° C (100 ° F) durante la instalación y curado al aire (mínimo 24 horas).

Para la aplicación neumática, el revestimiento deberá ser aplicada en secciones de trabajo horizontales desde la parte inferior hacia arriba. Se procederá de manera continua hasta alcanzar el espesor requerido en el área dada. Si la instalación es interrumpida, el

revestimiento deberá ser reducido inmediatamente a la superficie del casco o envolvente. Este corte será de profundidad completa en un ángulo de 90 grados con la superficie de la envolvente.

MONTAJE EN CAMPO DEL CALENTADOR

Será responsabilidad del montador asegurarse de que el calentador está montado según las especificaciones y planos suministrados por el vendedor.

Los paneles revestidos de refractario se manipularán evitando agrietamiento excesivo o la separación de refractario del acero.

Tener cuidado de evitar daños al refractarios debido al mal tiempo. El agua estancada o saturación del refractario deberán ser previstas. La protección incluirá cobertura para evitar el impacto externo de la lluvia y permitirá el drenaje, y un cierre hermético de puertas y caja de cabezales.

Las secciones donde los bordes de refractarios están expuestos deberán estar protegidas contra el agrietamiento en los bordes y esquinas. Evitar golpes externos a la carcasa de acero o envolvente.

Las juntas de construcción de paneles o módulos deberán tener un recubrimiento refractario continuo hasta completar el espesor del refractario adyacente.

Inspección y Pruebas.

Todos los materiales y trabajos efectuados por el vendedor deben estar sujetos a inspección por parte de los inspectores designados por el cliente, quienes deben tener libre acceso. Las piezas o componentes que no cumplan con los requerimientos de esta especificación se deben reparar o sustituir sin costo alguno para el cliente.

Las inspecciones de las soldaduras del serpentín de tubos por radiografía, ultrasonido, visuales, partículas magnéticas y líquidos penetrantes, deben estar de acuerdo al código ASME B31.3 última edición o equivalente.

Las inspecciones de las soldaduras de los domos de vapor y tubería de interconexión por radiografía, ultrasonido, visual, partículas magnéticas y líquidos penetrantes, deben estar de acuerdo al código ASME Sección I y VIII división 1 última edición o equivalente.

Se deben de efectuar pruebas radiográficas de las secciones críticas de piezas y accesorios fundidos sujetas a presión y alta temperatura de acuerdo al código ASME Sección VIII última edición o equivalente. El proveedor debe definir las secciones críticas durante el desarrollo de la Ingeniería de Detalle

La prueba hidrostática del serpentín de tubos debe efectuarse sobre un ensamble completo del serpentín, incluyendo la tubería de enlace de acuerdo al código ASME Sección VIII última edición o equivalente.

La inspección del acero estructural debe estar de acuerdo a los requerimientos del código AWS D1.1 última edición o equivalente.

No se requieren pruebas de impacto Charpy.

Cada pieza de fundición debe probarse hidrostáticamente de acuerdo al código ANSI B.16.5 "estándar americano para tuberías, bridas de acero y conexiones bridadas" última edición o equivalente, para la clasificación de acero que sea aplicable.

APENDICE N° 5:

NORMAS DE MATERIALES ASTM

- API A36: “Standard Specification for Carbon Structural
- API A335: “Steel” Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service”



Designation: A 36/A 36M – 04

Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.5 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.6 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee 01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2003 as A 36/A 36M – 03a.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing

A 502 Specification for Steel Structural Rivets

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]

A 1011/A 1011M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, High Strength Low Alloy, and High Strength Low Alloy with Improved Formability

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
steel rivets	A 502, Grade 1
bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
high-strength bolts	A 325 or A 325M
steel nuts	A 563 or A 563M
cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
forgings (carbon steel)	A 668, Class D
hot-rolled sheets and strip	A 1011/A 1011M, SS Grade 36[250] Type 1 or Type 2 or A 1018/A 1018M SS Grade 36[250]
cold-formed tubing	A 500, Grade B
hot-formed tubing	A 501
anchor bolts	F 1554

5.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification A 6/A 6M.

Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.² [645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars ^B			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Copper, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^AManganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

^BFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum may be permitted, up to the maximum of 1.35 %.



TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^ASee the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 36/A 36M.

^BFor wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^CYield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^DElongation not required to be determined for floor plate.

^EFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced by 2 percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection in the Tension Tests section of Specification A 36/A 36M.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 36/A 36M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

Charpy V-Notch Impact Test.

0. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Determine Core Location

2. Single Heat Bundles

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

Table 2 has been revised to make Footnote B also apply to bars.

(2) Supplementary Requirement S32 was added.

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03 that may impact the use of this standard. (Approved May 10, 2003.)

- (1) 1.4 has been deleted.
- (2) Tables 2 and 3 have been revised.

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-02 that may impact the use of this standard. (Approved April 10, 2003.)

- (1) 1.7, 4.1, 4.1.1 (renumbered as 4.2), and Note 1 have been revised to be consistent with the terminology and requirements of A 6/A 6M.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service¹

This standard is issued under the fixed designation A 335/A 335M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

Scope*

1.1 This specification² covers nominal wall and minimum thickness of seamless ferritic alloy-steel pipe intended for high-temperature service. Pipe ordered to this specification shall be suitable for bending, flanging (vanstoning), and similar forming operations, and for fusion welding. Selection will depend on design, service conditions, mechanical properties, and high-temperature characteristics.

1.2 Several grades of ferritic steels (see **Note 1**) are covered. Their compositions are given in **Table 1**.

Note 1—Ferritic steels in this specification are defined as low- and intermediate-alloy steels containing up to and including 10 % chromium.

1.3 Supplementary requirements (S1 to S7) of an optional nature are provided. These supplementary requirements call for additional tests to be made, and when desired, shall be so stated in the order together with the number of such tests required.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units shall be regarded separately as standard. Within the text, the two systems are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. The inch-pound units shall apply unless the “M” designation of this specification is specified in the order.

Note 2—The dimensionless designator NPS (nominal pipe size) has been substituted in this standard for such traditional terms as “nominal diameter,” “size,” and “nominal size.”

2 Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A10 on Stainless and Alloy Steel Tubular Products.

Current edition approved March 1, 2005. Published March 2005. Originally approved in 1951. Last previous edition approved in 2003 as A 335/A 335M-03.

For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-335 in Section II of that Code.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

A 450/A 450M Specification for General Requirements for Carbon, Ferritic Alloy, and Austenitic Alloy Steel Tubes

A 999/A 999M Specification for General Requirements for Alloy and Stainless Steel Pipe

E 213 Practice for Ultrasonic Examination of Metal Pipe and Tubing

E 309 Practice for Eddy-Current Examination of Steel Tubular Products Using Magnetic Saturation

E 381 Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings

E 527 Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS)

E 570 Practice for Flux Leakage Examination of Ferromagnetic Steel Tubular Products

2.2 ASME Standard:

B36.10M Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

2.3 Other Documents:

SNT-TC-1A Recommended Practice for Nondestructive Personnel Qualification and Certification⁴

SAE J 1086 Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS)⁵

3. Ordering Information

3.1 Orders for material under this specification should include the following, as required, to describe the desired material adequately:

3.1.1 Quantity (feet, metres, or number of lengths),

3.1.2 Name of material (seamless alloy steel pipe),

3.1.3 Grade (**Table 1**),

3.1.4 Manufacture (hot-finished or cold-drawn),

3.1.5 Size using one of the following:

3.1.5.1 NPS and schedule number,

3.1.5.2 Outside diameter and nominal wall thickness,

3.1.5.3 Outside diameter and minimum wall thickness,

3.1.5.4 Inside diameter and nominal wall thickness, and

3.1.5.5 Inside diameter and minimum wall thickness.

3.1.6 Length (specific or random),

⁴ Available from The American Society for Nondestructive Testing (ASNT), P.O. Box 28518, 1711 Arlingate Ln., Columbus, OH 43228-0518.

⁵ Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

TABLE 1 Chemical Requirements

Grade	UNS Designation ^A	Composition, %							Others
		Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max	Silicon	Chromium	Molybdenum	
P1	K11522	0.10–0.20	0.30–0.80	0.025	0.025	0.10–0.50	...	0.44–0.65	...
P2	K11547	0.10–0.20	0.30–0.61	0.025	0.025	0.10–0.30	0.50–0.81	0.44–0.65	...
P5	K41545	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00–6.00	0.45–0.65	...
P5b	K51545	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	1.00–2.00	4.00–6.00	0.45–0.65	...
P5c	K41245	0.12 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00–6.00	0.45–0.65	... ^B
P9	S50400	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.25–1.00	8.00–10.00	0.90–1.10	...
P11	K11597	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50–1.00	1.00–1.50	0.44–0.65	...
P12	K11562	0.05–0.15	0.30–0.61	0.025	0.025	0.50 max	0.80–1.25	0.44–0.65	...
P15	K11578	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	1.15–1.65	...	0.44–0.65	...
P21	K31545	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	2.65–3.35	0.80–1.06	...
P22	K21590	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	1.90–2.60	0.87–1.13	...
P23	K41650	0.04–0.10	0.10–0.60	0.030 max	0.010 max	0.50 max	1.90–2.60	0.05–0.30	V 0.20–0.30 Cb 0.02–0.08 B 0.0005–0.006 N 0.030 max Al 0.030 max W 1.45–1.75
P91	K91560	0.08–0.12	0.30–0.60	0.020	0.010	0.20–0.50	8.00–9.50	0.85–1.05	V 0.18–0.25 N 0.030–0.070 Ni 0.40 max Al 0.04 max Cb 0.06–0.10
P92	K92460	0.07–0.13	0.30–0.60	0.020	0.010	0.50 max	8.50–9.50	0.30–0.60	V 0.15–0.25 N 0.03–0.07 Ni 0.40 max Al 0.04 max Cb 0.04–0.09 W 1.5–2.00
P122	K92930	0.07–0.14	0.70 max	0.020	0.010	0.50 max	10.00–12.50	0.25–0.60	B 0.001–0.006 V 0.15–0.30 W 1.50–2.50 Cu 0.30–1.70 Cb 0.04–0.10 B 0.0005–0.005 N 0.040–0.100 Ni 0.50 max Al 0.040 max
P911	K91061	0.09–0.13	0.30–0.60	0.020 max	0.010 max	0.10–0.50	8.5–9.5	0.90–1.10	V 0.18–0.25 Ni 0.40 max Cb 0.060–0.10 B 0.0003–0.006 N 0.04–0.09 Al 0.04 max W 0.90–1.10

^A New designation established in accordance with Practice E 527 and SAE J1086, Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS).

^B Grade P 5c shall have a titanium content of not less than 4 times the carbon content and not more than 0.70 %; or a columbium content of 8 to 10 times the carbon content.

- 1.7 End finish (Ends Section of Specification A 999/99M),
- 1.8 Optional requirements (Section 8, 12 and 13 of this Specification. See the Sections on Hydrostatic Test Requirements and Permissible Variation in Weight for Seamless Pipe in Specification A 999/A 999M),
- 1.9 Test report required (Certification Section of Specification A 999/A 999M),
- 1.10 Specification designation, and
- 1.11 Special requirements or any supplementary requirements selected, or both.

4 General Requirements

4.1 Material furnished to this specification shall conform to applicable requirements of the current edition of Specification A 999/A 999M, unless otherwise provided herein.

5. Materials and Manufacture

5.1 Pipe may be either hot finished or cold drawn with the finishing treatment as required in 5.3.

5.2 *Grade P2 and P12*—The steel shall be made by coarse-grain melting practice. Specific limits, if any, on grain size or deoxidation practice shall be a matter of agreement between the manufacturer and purchaser.

5.3 Heat Treatment:

5.3.1 All pipe of grades shown in Table 1 except P5c, P23 P91, P92, P122, and P911 as provided in 5.3.2, shall be reheated and furnished in the full-annealed, isothermal annealed, or normalized and tempered condition. If furnished in the normalized and tempered condition, the minimum tempering temperature for Grades P5, P5b, P9, P21, and P22 shall be 1250 °F [675 °C], the minimum tempering temperature for Grades P1, P2, P11, P12, and P 15 shall be 1200 °F [650 °C].



NOTE 3—It is recommended that the temperature for tempering should be at least 100 °F [50 °C] above the intended service temperature; consequently, the purchaser should advise the manufacturer if the service temperature is to be over 1100 °F [600 °C].

5.3.2 Pipe of Grades P1, P2, and P12, either hot finished or cold drawn, may be given a final heat treatment at 1200 °F [650 °C] to 1300 °F [705 °C] instead of heat treatments specified in 5.1.

5.3.3 All pipe of Grades P5c shall be given a final heat treatment in the range from 1325 °F [715 °C] to 1375 °F [745 °C].

NOTE 4—Certain of the ferritic steels covered by this specification will Harden if cooled rapidly from above their critical temperature. Some will Harden, that is, become hardened to an undesirable degree when cooled rapidly from high temperatures. Therefore, operations involving heating of these steels above their critical temperatures, such as welding, flanging, and hot bending, should be followed by suitable heat treatment.

5.3.4 Grades P92 and P911 shall be normalized at 1900 °F [1040 °C] minimum and tempered at 1350 °F [730 °C] minimum as a final heat treatment.

5.3.5 Grade P122 shall be normalized at 1900 °F [1040 °C] minimum, and tempered at 1350 °F [730 °C] minimum as a final heat treatment.

5.3.6 Grade P23 shall be normalized at 1900 °F [1040 °C] minimum with air cooling or accelerated cooling and tempered at 1350 °F [730 °C] minimum as a final heat treatment.

5.4 Except when Supplementary Requirement S7 is specified by the purchaser, Grade P91 shall be normalized at 1900 °F [1040 °C] minimum, and tempered at 1350 °F [730 °C] minimum as a final heat treatment. Alternatively, liquid nitrogen quenching and tempering is allowed for thicknesses above 3 in. When mutually agreed upon between the manufacturer and the purchaser. In this case the pipe shall be quenched from 1900 °F [1040 °C] minimum and tempered at 1350 °F [730 °C] minimum as final heat treatment.

6 Chemical Composition

6.1 The steel shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

7 Workmanship, Finish, and Appearance

7.1 The pipe manufacturer shall explore a sufficient number of visual surface imperfections to provide reasonable assurance that they have been properly evaluated with respect to depth. Exploration of all surface imperfections is not required but may be necessary to ensure compliance with 7.2.

7.2 Surface imperfections that penetrate more than 12½ % of the nominal wall thickness or encroach on the minimum wall thickness shall be considered defects. Pipe with such defects shall be given one of the following dispositions:

- 7.2.1 The defect may be removed by grinding provided that the remaining wall thickness is within specified limits.
7.2.2 Repaired in accordance with the repair welding provisions of 7.6.
7.2.3 The section of pipe containing the defect may be cut within the limits of requirements on length.
7.2.4 Rejected.

7.3 To provide a workmanlike finish and basis for evaluating conformance with 7.2, the pipe manufacturer shall remove by grinding the following:

7.3.1 Mechanical marks, abrasions (see Note 5) and pits, any of which imperfections are deeper than 1/16 in. [1.6 mm].

NOTE 5—Marks and abrasions are defined as cable marks, dinges, guide marks, roll marks, ball scratches, scores, die marks, and the like.

7.3.2 Visual imperfections, commonly referred to as scabs, seams, laps, tears, or slivers, found by exploration in accordance with 7.1 to be deeper than 5 % of the nominal wall thickness.

7.4 At the purchaser's discretion, pipe shall be subject to rejection if surface imperfections acceptable under 7.2 are not scattered, but appear over a large area in excess of what is considered a workmanlike finish. Disposition of such pipe shall be a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser.

7.5 When imperfections or defects are removed by grinding, a smooth curved surface shall be maintained, and the wall thickness shall not be decreased below that permitted by this specification. The outside diameter at the point of grinding may be reduced by the amount so removed.

7.5.1 Wall thickness measurements shall be made with a mechanical caliper or with a properly calibrated nondestructive testing device of appropriate accuracy. In case of dispute, the measurement determined by use of the mechanical caliper shall govern.

7.6 Weld repair shall be permitted only subject to the approval of the purchaser and in accordance with Specification A 999/A 999M.

7.7 The finished pipe shall be reasonably straight.

8. Product Analysis

8.1 At the request of the purchaser, an analysis of two pipes from each lot shall be made by the manufacturer. A lot (see Note 6) of pipe shall consist of the following:

Table with 2 columns: NPS Designator and corresponding number of pipes or fraction thereof.

NOTE 6—A lot shall consist of the number of lengths specified in 8.1 of the same size and wall thickness from any one heat of steel.

8.2 The results of these analyses shall be reported to the purchaser or the purchaser's representative, and shall conform to the requirements specified in Table 1.

8.3 For grade P 91 the carbon content may vary for the product analysis by -0.01 % and +0.02 % from the specified range as per Table 1.

8.4 If the analysis of one of the tests specified in 8.1 does not conform to the requirements specified in 6.1, an analysis of each billet or pipe from the same heat or lot may be made, and all billets or pipe conforming to the requirements shall be accepted.

9. Tensile and Hardness Requirements

9.1 The tensile properties of the material shall conform to the requirements prescribed in Table 2.

9.2 Table 3 lists elongation requirements.



TABLE 2 Tensile Requirements

	Grade						
	P1, P2	P12	P23	P91	P92, P911	P122	All Others
Tensile strength, min:							
ksi	55	60	74	85	90	90	60
MPa	380	415	510	585	620	620	415
Yield strength, min:							
ksi	30	32	58	60	64	58	30
MPa	205	220	400	415	440	400	205

TABLE 3 Elongation Requirements

Elongation Requirements	Direction of Test				Equation ^a
	All grades except P23, P91, P92, P122, and P911		All other grades		
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	
Elongation in 2 in. or 50 mm, (4D), min, %:					
Basic minimum elongation (wall 5/16 in. [8 mm] and over in thickness, strip tests, and for all small sizes tested in full section)	30	20	20	...	$E = 48t + 15.00$ $[E = 1.87t + 15.00]$
When standard round 2-in. (50-mm) gage length or proportionally smaller size specimen with the gage length equal to 4D (4 times diameter) is used	22	14	20	13	$E = 32t + 10.00$ $[E = 1.25t + 10.00]$
For strip tests a deduction of each 1/32-in. [0.8 mm] increase in wall thickness below in. [8 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage points shall be made	1.50 ^A	1.00 ^A	1.00 ^A	...	$E = 32t + 10.00$ $[E = 1.25t + 10.00]$

Table 4 gives the calculated minimum values.

3 Pipe of Grades P91, P92, and P122 shall have a hardness not exceeding 250 HB/265 HV [25 HRC].

4 Table 4 gives the computed minimum elongation values for each 1/32-in. [0.8-mm] decrease in wall thickness. Where the wall thickness lies between two values above, the minimum elongation value is determined by the following formula:

TABLE 4 Calculated Minimum Elongation Values

Wall Thickness	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %			
	All grades except P23, P91, P92, P122, and P911		All other grades	
	in.	mm	Longitudinal	Transverse
3/4 (.312)	8	30	20	20
5/8 (.281)	7.2	28	19	19
1/2 (.250)	6.4	27	18	18
7/8 (.219)	5.6	26	...	17
3/4 (.188)	4.8	24	...	16
5/8 (.156)	4	22	...	15
1/2 (.125)	3.2	21	...	14
3/8 (.094)	2.4	20	...	13
1/4 (.062)	1.6	18	...	12

Direction of Test
 Longitudinal, all grades except P23, P91, P92, P122, and P911
 Transverse, all grades except P23, P91, P92, P122, and P911
 Longitudinal, P23, P91, P92, P122, and P911
 where:
 E = elongation in 2 in. or 50 mm, %, and
 t = actual thickness of specimens, in. [mm].

10. Permissible Variations in Diameter

10.1 For pipe ordered to NPS [DN] or outside diameter, variations in outside diameter shall not exceed those specified in Table 5.

10.2 For pipe ordered to inside diameter, the inside diameter shall not vary more than ± 1 % from the specified inside diameter.

11. Permissible Variations in Wall Thickness

11.1 In addition to the implicit limitation of wall thickness for pipe imposed by the limitation on weight in Specification A 999/A 999M, the wall thickness for pipe at any point shall be within the tolerances specified in Table 6. The minimum wall thickness and outside diameter for inspection for compliance with this requirement for pipe ordered by NPS [DN] and schedule number is shown in ASME B36.10M.

12. Hydrostatic Test

12.1 Each length of pipe shall be subjected to the hydrostatic test, except as provided for in 12.2 or 12.3.

12.2 Unless otherwise specified in the purchase order, each length of pipe shall, at the option of the manufacturer, be subjected to the nondestructive electric test as shown in Section 13 in lieu of the hydrostatic test.

TABLE 5 Permissible Variations in Outside Diameter

NPS [DN] Designator	Over		Under	
	in.	mm	in.	mm
1/8 to 1 1/2 [6 to 40], incl.	1/64 (0.015)	0.40	1/64 (0.015)	0.40
Over 1 1/2 to 4 [40 to 100], incl.	1/32 (0.031)	0.79	1/32 (0.031)	0.79
Over 4 to 8 [100 to 200], incl.	1/16 (0.062)	1.59	1/32 (0.031)	0.79
Over 8 to 12 [200 to 300], incl.	3/32 (0.093)	2.38	1/32 (0.031)	0.79
Over 12 [300]	± 1 % of the specified outside diameter			

TABLE 6 Permitted Variations in Wall Thickness

NPS [DN] Designator	Tolerance, % from Specified	
	Over	Under
1/2 to 2 1/2 [6 to 65] incl., all t/D ratios ^A	20.0	12.5
above 2 1/2 [65], t/D ≤ 5 % ^A	22.5	12.5
above 2 1/2 [65], t/D > 5 % ^A	15.0	12.5

^At = Specified Wall Thickness; D = Specified Outside Diameter.

12.3 When specified by the purchaser, pipe shall be furnished without hydrostatic test and without nondestructive examination.

12.4 When specified by the purchaser, pipe shall be furnished with both the hydrostatic test and a nondestructive examination having been performed.

1 Nondestructive Examination

13.1 When selected by the manufacturer or when specified in the order, as an alternative to the hydrostatic test (12.2), or when specified in the purchase order in addition to the hydrostatic test (12.4), each pipe shall be examined by a nondestructive examination method in accordance with Practice E 213, Practice E 309 or Practice E 570. The range of pipe sizes that may be examined by each method shall be subject to all limitations in the scope of the respective practices.

13.2 The following information is for the benefit of the user of his specification:

13.2.1 The reference standards defined in 13.8 are convenient standards for standardization of nondestructive examination equipment. The dimensions of these standards should not be construed as the minimum size imperfection detectable by such equipment.

13.2.2 Ultrasonic examination can be performed to detect both longitudinally and transversely oriented discontinuities. It should be recognized that different techniques should be employed to detect differently oriented imperfections. The examination may not detect short, deep imperfections.

13.2.3 The eddy current examination referenced in this specification has the capability to detect significant discontinuities, especially of the short abrupt type.

13.2.4 The flux leakage examination referred to in this specification is capable of detecting the presence and location of significant longitudinally or transversely oriented discontinuities. It should be recognized that different techniques should be employed to detect differently oriented imperfections.

13.2.5 The hydrostatic test of Section 12 has the capability to find imperfections of a size that permit the test fluid to leak through the pipe wall so that it may be either visually seen or detected by a loss of fluid pressure. This test may not detect very tight, through-wall imperfections, or imperfections that extend into the wall without complete penetration.

13.2.6 A purchaser interested in ascertaining the nature (type, size, location, and orientation) of discontinuities that can be detected in the specific application of these examinations should discuss this with the manufacturer of the tubular products.

13.3 Time of Examination:

Nondestructive examination for specification acceptance shall be performed after all mechanical processing, heat

treatments and straightening operations. This requirement does not preclude additional testing at earlier stages in the processing.

13.4 Surface Conditions:

13.4.1 All surfaces shall be clean and free of scale, dirt, grease, paint, or other foreign material that could interfere with interpretation of test results. The methods used for cleaning and preparing the surfaces for examination shall not be detrimental to the base metal or the surface finish.

13.4.2 Excessive surface roughness or deep scratches can produce signals that interfere with the test (see 13.10.2.3).

13.5 Extent of Examination:

13.5.1 The relative motion of the pipe and the transducer(s), coil(s), or sensor(s) shall be such that the entire pipe surface is scanned, except for end effects as noted in 13.5.2.

13.5.2 The existence of end effects is recognized, and the extent of such effects shall be determined by the manufacturer, and, if requested, shall be reported to the purchaser. Other nondestructive tests may be applied to the end areas, subject to agreement between the purchaser and the manufacturer.

13.6 Operator Qualifications—The test unit operator shall be certified in accordance with SNT-TC-1A, or an equivalent, recognized and documented standard.

13.7 Test Conditions:

13.7.1 For examination by the ultrasonic method, the minimum nominal transducer frequency shall be 2.25 MHz.

13.7.2 For eddy current testing, the excitation coil frequency shall be 10 kHz, or less.

13.8 Reference Standards:

13.8.1 Reference standards of convenient length shall be prepared from a length of pipe of the same grade, size (NPS or outside diameter and schedule or wall thickness), surface finish and heat treatment condition as the pipe to be examined.

13.8.2 For ultrasonic testing, the reference notches shall be any one of the three common notch shapes shown in Practice E 213, at the option of the manufacturer. The depth of the notch shall not exceed 1 1/2 % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. The length of the notch shall be at least twice the diameter of the transducer(s). The width of the notch shall not exceed the depth.

13.8.3 For eddy current testing, the reference standard shall contain, at the option of the manufacturer, any one of the following discontinuities:

13.8.3.1 Drilled Hole—The reference standard shall contain three or more holes, equally spaced circumferentially around the pipe and longitudinally separated by a sufficient distance to allow distinct identification of the signal from each hole. The holes shall be drilled radially and completely through the pipe wall, with care being taken to avoid distortion of the pipe while drilling. The hole diameter shall vary with NPS as follows:

NPS Designator	Hole Diameter
1/2	0.039 in. (1 mm)
above 1/2 to 1 1/4	0.055 in. (1.4 mm)
above 1 1/4 to 2	0.071 in. (1.8 mm)
above 2 to 5	0.087 in. (2.2 mm)
above 5	0.106 in. (2.7 mm)

13.8.3.2 Transverse Tangential Notch—Using a round tool or file with a 1/4 in. (6.4 mm) diameter, a notch shall be filed

grounded tangential to the surface and transverse to the longitudinal axis of the pipe. Said notch shall have a depth not exceeding 12½ % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater.

3.8.3.3 *Longitudinal Notch*—A notch 0.031 in. or less in width shall be machined in a radial plane parallel to the tube axis on the outside surface of the pipe, to have a depth not exceeding 12½ % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. The length of the notch shall be compatible with the testing method.

3.8.4 For flux leakage testing, the longitudinal reference notches shall be straight-sided notches machined in a radial plane parallel to the pipe axis. For wall thickness less than ½ in. (12.7 mm), outside and inside notches shall be used; for wall thicknesses equal to or greater than ½ in., only an outside notch shall be used. Notch depth shall not exceed 12½ % of the specified nominal wall thickness or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. Notch length shall not exceed 1 in. (25.4 mm), and the width shall not exceed the depth. Outside and inside notches shall have sufficient separation to allow distinct identification of the signal from each notch.

3.8.5 More or smaller reference discontinuities, or both, may be used by agreement between the purchaser and the manufacturer.

3.9 *Standardization Procedure:*

3.9.1 The test apparatus shall be standardized at the beginning and end of each series of pipes of the same size (NPS or diameter and schedule or wall thickness), grade and heat treatment condition, and at intervals not exceeding 4 h during the examination of such pipe. More frequent standardizations may be performed at the manufacturer's option or may be required upon agreement between the purchaser and the manufacturer.

3.9.2 The test apparatus shall also be standardized after any change in test system settings, change of operator, equipment repair, or interruption due to power loss, shutdown or operator breaks.

3.9.3 The reference standard shall be passed through the test apparatus at same speed and test system settings as the pipe to be tested.

3.9.4 The signal-to-noise ratio for the reference standard shall be 2.5 to 1 or greater and the reference signal amplitude for each discontinuity shall be at least 50 % of full scale of the display.

3.9.5 If upon any standardization, the reference signal amplitude has decreased by 25 % (2 db), the test apparatus shall be considered out of standardization. The test system settings may be changed, or the transducer(s), coil(s) or sensor(s) adjusted, and the unit restandardized, but all pipe tested since the last acceptable standardization must be retested.

3.10 *Evaluation of Imperfections:*

3.10.1 Pipes producing a signal equal to or greater than the signal produced by the reference standard shall be positively identified and they shall be separated from the acceptable pipes. The area producing the signal may be reexamined.

3.10.2 Such pipes shall be subject to one of the following dispositions:

13.10.2.1 The pipes may be rejected without further examination, at the discretion of the manufacturer.

13.10.2.2 The pipes shall be rejected, but may be repaired, if the test signal was produced by imperfections which cannot be identified, or was produced by cracks or crack-like imperfections. These pipes may be repaired by grinding (in accordance with 7.2.1), welding (in accordance with 7.6) or sectioning (in accordance with 7.2.3). To be accepted, a repaired pipe must pass the same nondestructive examination by which it was rejected, and it must meet the remaining wall thickness requirements of this specification.

13.10.2.3 Such pipes may be evaluated in accordance with the provisions of Section 7, if the test signals were produced by visual imperfections such as those listed below:

- (a) Scratches,
- (b) Surface roughness,
- (c) Dings,
- (d) Straightener marks,
- (e) Cutting chips,
- (f) Steel die stamps,
- (g) Stop marks, or
- (h) Pipe reducer ripple.

14. **Mechanical Tests Required**

14.1 *Transverse or Longitudinal Tension Test and Flattening Test, Hardness Test, or Bend Test*—For material heat treated in a batch-type furnace, tests shall be made on 5 % of the pipe from each treated lot (see Note 7). For small lots, at least 1 pipe shall be tested. For material heat treated by the continuous process, tests shall be made on a sufficient number of pipe to constitute 5 % of the lot (see Note 7), but in no case less than 2 pipe.

NOTE 7—The term "lot" applies to all pipe of the same nominal size and wall thickness (or schedule) which is produced from the same heat of steel and subjected to the same finishing treatment in a continuous furnace; when final heat treatment is in a batch-type furnace, the lot shall include only that pipe which is heat treated in the same furnace charge.

14.2 *Hardness Test:*

14.2.1 For pipe of Grades P91, P92, P122, and P911, Brinell, Vickers, or Rockwell hardness tests shall be made on a specimen from each lot (see Note 7).

14.3 *Bend Test:*

14.3.1 For pipe whose diameter exceeds NPS 25 and whose diameter to wall thickness ratio is 7.0 or less shall be subjected to the bend test instead of the flattening test. Other pipe whose diameter equals or exceeds NPS 10 may be given the bend test in place of the flattening test subject to the approval of the purchaser.

14.3.2 The bend test specimens shall be bent at room temperature through 180° without cracking on the outside of the bent portion. The inside diameter of the bend shall be 1 in. [25 mm].

14.3.3 Test specimens for the bend test specified in 14.3 shall be cut from one end of the pipe and, unless otherwise specified, shall be taken in a transverse direction. One test specimen shall be taken as close to the outer surface as possible and another from as close to the inner surface as possible. The specimens shall be either ½ by ½ in. [12.5 by 12.5 mm] in

section or 1 by 1/2 in. [25 by 12.5 mm] in section with the corners rounded to a radius not over 1/16 in. [1.6 mm] and need not exceed 6 in. [150 mm] in length. The side of the samples bent in tension during the bend shall be the side closest to the inner and outer surface of the pipe, respectively.

17 Certification

17.1 In addition to the information required by Specification A 999/A 999M, the certification shall state whether or not the pipe was hydrostatically tested. If the pipe was nondestructively examined, the certification shall so state and shall show which practice was followed and what reference discontinuities were used. In addition, the test method information as given in Table 7 shall be appended to the specification number and grade shown on the certification.

18 Product Marking

18.1 In addition to the marking prescribed in Specification A 999/A 999M, the marking shall include the length, an additional symbol “S”, if the pipe conforms to any of the Supplementary Requirements S1 to S6, the schedule number, if the pipe is ordered to a schedule number, and the heat number or manufacturer’s number by which the heat can be identified. Furthermore, the marking designated in Table 7 to indicate the test method(s) shall be included. Marking may be by stenciling, stamping, or rolling. Pipe that has been weld repaired in accordance with 7.6 shall be marked “WR.”

19 Government Procurement

19.1 *Scale Free Pipe:*
19.1.1 When specified in the contract or order, the following requirements shall be considered in the inquiry contract or order, for agencies of the U.S. Government where scale free

TABLE 7 Test Method Information for Certification and Marking

Hydrostatic	Nondestructive	Marking
YES	NO	Test Pressure
NO	YES	NDE
NO	NO	NH
YES	YES	Test Pressure/NDE

pipe is required. These requirements shall take precedence if there is a conflict between these requirements and the product specification.

17.1.2 The requirements of Specification A 999/A 999M for pipe and Specification A 450/A 450M for tubes shall be applicable when pipe is ordered to this specification.

17.1.3 Pipe shall be one of the following grades as specified herein:

Grade	UNS Designation
P11	K11597
P22	K21590
P5	K41545

17.1.4 *Part Number:*

17.1.4.1 Pipe shall be ordered to nominal pipe size and schedule specified in ASME B36.10M

Example: A 335/A 335M Pipe P-11 NPS 12 Sch 40

Specification Number	ASTM A 335/A 335M
Pipe	P
Grade	P-11
NPS	12
Wall	0.375

17.1.4.2

Specification Number	ASTM A 335/A 335 M
Tube	T
Grade	P-11
Outside Diameter	0.250
Wall	0.035

17.1.5 *Ordering Information*—Orders for material under this specification shall include the following in addition to the requirements of Section 3:

- 17.1.5.1 Pipe or tube,
- 17.1.5.2 Part number,
- 17.1.5.3 Ultrasonic inspection, if required,
- 17.1.5.4 If shear wave test is to be conducted in two opposite circumferential directions, and
- 17.1.5.5 Level of preservation and packing required.

18. Keywords

18.1 alloy steel pipe; high temperature service; seamless steel pipe; steel pipe; temperature service applications

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

One or more of the following supplementary requirements shall apply only when specified in the purchase order. The purchaser may specify a different frequency of test or analysis than is provided in the supplementary requirement. Subject to agreement between the purchaser and manufacturer, retest and retreatment provisions of these supplementary requirements may also be modified.

S1 Product Analysis

18.1.1 Product analysis shall be made on each length of pipe. Individual lengths failing to conform to the chemical composition requirements shall be rejected.

S2 Transverse Tension Tests

2.1 A transverse tension test shall be made on a specimen from one end or both ends of each pipe NPS 8 and over. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per

pipe shall also be specified. If a specimen from any length fails to meet the required tensile properties (tensile, yield, and elongation), that length shall be rejected subject to retreatment in accordance with Specification A 999/A 999M and satisfactory retest.

S3. Flattening Test

S3.1 The flattening test of Specification A 999/A 999M shall be made on a specimen from one end or both ends of each

e. Crop ends may be used. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per pipe shall also be specified. If a specimen from any length fails because of lack of ductility prior to satisfactory completion of the first step of the flattening test requirement, that pipe shall be rejected subject to retreatment in accordance with Specification A 999/A 999M and satisfactory retest. If a specimen from any length of pipe fails because of a lack of soundness that length shall be rejected, unless subsequent retesting indicates that the remaining length is sound. The bend test of 13.2 shall be substituted for the flattening test for pipe whose diameter exceeds NPS 25 and whose diameter to wall thickness ratio is 7.0 or less.

S6 Metal Structure and Etching Tests

14.1 The steel shall be homogeneous as shown by etching tests conducted in accordance with the appropriate portions of Method E 381. Etching tests shall be made on a cross section from one end or both ends of each pipe and shall show sound and reasonably uniform material free from injurious laminations, cracks, and similar objectionable defects. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per pipe required shall also be specified. If a specimen from any length shows objectionable defects, the length shall be rejected, subject to removal of the defective end and subsequent retests indicating the remainder of the length to be sound and reasonably uniform material.

NOTE S4.1—Pending development of etching methods applicable to the pipe covered by this specification, it is recommended that the Recommended Practice for a Standard Macro Etch Test for Routine Inspection of Iron and Steel, described in the *Metals Handbook*, Am. Soc. for Metals, 15th edition, p. 389, be followed.

S7 Photomicrographs

5.1 When requested by the purchaser and so stated in the order, the manufacturer shall furnish one photomicrograph at

100 diameters from a specimen of pipe in the as-finished condition for each individual size and wall thickness from each heat, for pipe NPS 3 and over. Such photomicrographs shall be suitably identified as to pipe size, wall thickness, and heat. No photomicrographs for the individual pieces purchased shall be required except as specified in Supplementary Requirement S6. Such photomicrographs are for information only, to show the actual metal structure of the pipe as finished.

S6. Photomicrographs for Individual Pieces

S6.1 In addition to the photomicrographs required in accordance with Supplementary Requirement S5, the purchaser may specify that photomicrographs shall be furnished from each end of one or more pipes from each lot of pipe NPS 3 and larger in the as-finished condition. The purchaser shall state in the order the number of pipes to be tested from each lot. When photomicrographs are required on each length, the photomicrographs from each lot of pipe in the as-finished condition which may be required under Supplementary Requirement S5 may be omitted. All photomicrographs required shall be properly identified as to heat number, size, and wall thickness of pipe from which the section was taken. Photomicrographs shall be further identified to permit association of each photomicrograph with the individual length of pipe it represents.

S7. Alternative Heat Treatment—Grade P91

S7.1 Grade P91 shall be normalized in accordance with 5.3 and tempered at a temperature, to be specified by the purchaser, less than 1350 °F [730 °C]. It shall be purchaser's responsibility to subsequently temper at 1350 °F [730 °] minimum. All mechanical tests shall be made on material heat treated in accordance with 5.3. The certification shall reference this supplementary requirement indicating the tempering temperature applied. The notation "S7" shall be included with the required marking of the pipe.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A 335/A 335M-03, that may impact the use of this specification. (Approved March 1, 2005)

- (1) Added ASME B36.10M to Referenced Documents and corrected the reference from ANSI B36.10 to ASME B36.10M in 7.1.4.1.
- (2) Revised Chromium content of Grade P91 in Table 1.

- (3) Added DN SI-unit designator to 10.1 and Table 5.
- (4) Added new Section 11 and Table 6 to address maximum wall thickness of pipe and renumbered subsequent paragraphs and tables accordingly.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

APENDICE N° 6:

DATA SHEET DE LOS TUBOS DEL HORNO 311 – H1



SPECIFICATION PARTICULIERE

Activité - Unité	Code Matériel	N° ordre	Rev.
SP 57796-00	0113	01	3

FOUR - DONNEES TECHNIQUES (suite) FIRED HEATER DATA SHEET (cont)	Date de révision MAR-19P	Page 31/8
	Service émetteur NDAI	

DESIGN DES FAISCEAUX / COIL DESIGN (Cont'd)				
1	* SECTION FOUR HEATER SECTION			
2	RAD	S40Cr	SP4C LNW	STAIN
3				
4	NOMBRE DE PASSES / NUMBER OF PASSES: 1			
5	LONGUEUR REELLE DE TUBE m / OVERALL TUBE LENGTH, m			
6	LONGUEUR EFFECTIVE DE TUBE m / EFFECTIVE TUBE LENGTH, m			
7	7.340	3.510	3.510	3.510
8	45	16	-	-
9	SURFACE TOTALE EXPOSEE m² / TOTAL EXPOSED SURFACE, m²			
10	146.5	20.2	-	-
11	NOMBRE DE RANGEES / NUMBER OF ROWS			
12	-	2	-	-
13	TUBES A SURFACE ETENDUE : NOMBRE / EXTENDED SURFACE TUBES : NUMBER			
14	-	-	64	14
15	SURFACE TOTALE m² / TOTAL EXPOSED SURFACE, m²			
16	12	-	222.9	42.8
17	NOMBRE DE RANGEES / NUMBER OF ROWS			
18	-	-	8	2
19	ENTR'AXE DES TUBES (mm) (in ou (pouces) (in)) / TUBES SPACING, CENTER TO CENTER, mm (in) (pouces) (in)			
20	254 IN LINE	203 STG.	203 STG.	229 STG.
21	ENTR'AXE TUBE ET SURFACE MUR TUBIEREUR, mm / TUBE CENTER TO FURNACE WALL, mm			
22	216	102	102	114
23	* TRAITEMENT DE DETENTION STRESS RELIEVE			
24	YES	YES	YES	YES
25	* INSPECTION DE SOUDAGE DEMANDES, RADIOGRAPHIE OU AUTRE WELD INSPECTION REQUIREMENTS, X-RAY OR OTHER			
26	100%	100%	100%	100%
27	TUBES / TUBES			
28	VERTICAL OU HORIZONTAL / VERTICAL OR HORIZONTAL			
29	VERT	HOR	HOR	HOR
30	* MATERIEL TUBE (SPECIFICATION ASTM ET GRADE) / TUBE MATERIAL (ASTM SPECIFICATION AND GRADE)			
31	A 335 P9	A 335 P9	A 335 P5	A 335 P11
32	DIAMETRE EXTERIEUR mm / OUTSIDE DIAMETER, mm			
33	141.3	114.3	114.3	88.9
34	EPAISSEUR (Minimum) (Mean), mm / WALL THICKNESS (Minimum) (Average), mm			
35	8 min.	8 min.	5th 4th type	5th 4th type
36	TEMPERATURE MAXI TUBE, °C (Calculated) / MAXIMUM TUBE WALL TEMPERATURE, °C (Calculated)			
37	-	-	325	440
38	COEFFICIENT DE FILM INTERNE (Calculated) / INSIDE FILM COEFFICIENT (Calculated)			
39	-	-	-	-
40	TEMPERATURE MAXI DE CALCUL TUBE °C / MAXIMUM TUBE WALL TEMPERATURE °C (Design)			
41	430	440	340	455
42	BASES DE CALCUL D'EPAISSEUR TUBE / DESIGN BASIS FOR TUBE WALL THICKNESS			
43	ACC. TO C.S. 400			ASME Sect I
44	DESCRIPTION DE LA SURFACE ETENDUE : / DESCRIPTION OF EXTENDED SURFACE :			
45	TYPE / TYPE			
46	/		STUDS	STUDS
47	/		CYL. Ø12.7	CYL. Ø12.7
48	NUANCE MATIERE D'AILETTES OU DE STUDS. / FIN OR STUD MATERIAL			
49	/		C.S.	C.S.
50	DIMENSIONS DES AILETTES OU DES STUDS mm / FIN OR STUD DIMENSIONS, mm			
51	HEIGHT		18	39
52	ESPACE ENTRE AILETTES OU STUDS mm / FIN OR STUD SPACING, mm			
53	/		15.9	15.9
54	TEMPERATURE MAXI DES AILETTES OU STUDS °C / MAXIMUM FIN OR STUD TEMPERATURE °C			
55	/		≤ 538	≤ 538
56	COEFFICIENT D'EXTENSION / EXTENSION RATIO			
57	/		2.77	3.11
58	BOITES DE RETOUR / PLUG - TYPE HEADERS			
59	BOTTOM CASE 15TH TUBE (TOT. 4) ONE HOLE		NONE	
60	CONSTRUCTEUR ET TYPE / MANUFACTURER AND TYPE			
61	/			
62	* MATIERE (SPECIFICATION ASTM ET GRADE) / MATERIAL (ASTM SPECIFICATION AND GRADE)			
63	9% Cr			
64	CLASSE NOMINALE / NOMINAL RATING			
65	/			
66	* EMPLACEMENT / LOCATION			
67	HDA. BOXES			
68	/			
69	* CONSTRUCTION SOUDEE OU FORGEE / WELDED OR ROLLED			
70	WELDED			
71	/			
72	COUDES DE RETOUR / RETURN BENDS			
73	/			
74	CONSTRUCTEUR ET TYPE / MANUFACTURER AND TYPE			
75	WUB	WUB	WUB	WUB
76	* MATIERE (SPECIFICATION ASTM ET GRADE) / MATERIAL (ASTM SPECIFICATION AND GRADE)			
77	A 234 WP9 A 234 WP9 A 234 WP5 A 234 WP11			
78	DIMENSIONNEMENT NOMINAL OU SCHEDULE / NOMINAL RATING OR SCHEDULE			
79	NB / THICK.	5" 8mm min.	4" 8mm min.	4" sch 40 type 3" sch 40 type
80	EMPLACEMENT / LOCATION			
81	Rad Chamber		header boxes	



SPECIFICATION PARTICULIERE

Activité - Unité	Code Matériel	N° ordre	Re.
SP 57796.00	0113	01	3

FOUR DONNEES TECHNIQUES (suite) FIRED HEATER DATA SHEET (cont)	Date de révision MAR - 1988	Page 11/8
	Service Amonteur N3A1	

DESIGN DES FAISCEAUX / COIL DESIGN (Cont'd)						
SECTION FOUR HEATER SECTION		RAD.	SHOCK	CONV.	STEAM	
RACCORDEMENTS TERMINALS						
CONSTRUCTEUR ET TYPE MANUFACTURER AND TYPE		FLANGE	FLANGE	FLANGE	FLANGE	
* MATIERE (SPECIFICATION ASTM ET GRADE) MATERIAL (ASTM SPECIFICATION AND GRADE)		A182 F9	A182 F9	A182 F5	A182 F11	
* CLASSE NOMINALE NOMINAL RATING						
* EMPLACEMENT LOCATION		INLET-INT.	OUTLET	INLET	OUTLET-INT.	
* CONSTRUCTION SOUDEE OU FORGEE WELDED OR ROLLED		WELDED	WELDED	WELDED	WELDED	
BRIDE FLANGE	DIMENSION ET CLASSE SIZE AND RATING	300 LB.	5" - 4"	4"	4"	3"
	EMPLACEMENT LOCATION		OUTSIDE	OUTSIDE	OUTSIDE	OUTSIDE
* SOUDURES WELDED OR FLANGED				FLANGED		
* MATIERE TUBE (SPECIFICATION ASTM ET GRADE) PIPE MATERIAL (ASTM SPECIFICATION AND GRADE)			A 335 P9			
DIMENSIONS TUBE - EPAISSEUR PIPE SIZE AND WALL THICKNESS	MM		114.3 O.D. - 8 min.			
EMPLACEMENT LOCATION			EXTERNAL			
CLASSE DES BRIDES FLANGE RATING			300 LB.			
SUPPORTAGE DES TUBES TUBE SUPPORTS						
EN BOUTS, EN HAUT, EN BAS ENDS, TOP, BOTTOM			BOTTOM		ENDS	
MATIERE MATERIAL			FLANGE		O.S.	
EPAISSEUR THICKNESS	MM				A-37-b	
TYPE ET EPAISSEUR D'ISOLATION TYPE AND THICKNESS OF INSULATION			FLANG CORNER	100 mm	1.2 U. Concrete	
RENFORCEMENT D'ISOLATION INSULATION REINFORCEMENT			WDRS	18.8	V STUDS	
SUPPORT INTERMEDIAIRE INTERMEDIATE					NONE	
MATIERE MATERIAL						
ESPACE SPACING, mm						
TYPE ET EPAISSEUR DU REVETEMENT TYPE AND THICKNESS OF COATING						
GUIDES GUIDES	EMPLACEMENT LOCATION		TOP			
MATIERE MATERIAL			25-20 G. NI			
BOITES A COUDES DE RETOUR HEADER BOXES						
EMPLACEMENT LOCATION						
MATIERE MATERIAL						
ISOLATION - MATIERE INSULATION - MATERIAL						
MATIERE D'ANCHRAGE ANCHORING MATERIAL			C.S. Y STUDS			
LES PORTES DES BOITES SONT ELLES BOULONNEES OU A CHARNIERE ? ARE HEADER BOX DOORS BOLTED OR HINGED ?					HINGED	



100 000 000 000

APENDICE N° 7:

INFORMACIÓN TÉCNICA DE SOLDADURA

- HOJA TÉCNICA – EXSA 9016 B9
- HOJA TÉCNICA – CHROMOCORD 502
- HOJA TÉCNICA – EXSATIG 103
- HOJA TÉCNICA – EXSATIG 9Cr - 1Mo
- HOJA TÉCNICA – EXSATIG 5Cr - 0.5Mo

EXSA 9016 B9

SMAW Aceros al carbono y baja aleación

Electrodo revestido de tipo básico cuyo depósito es una aleación de acero cromo-molibdeno (9%Cr-1%Mo+Nb+V), que presenta buenos valores mecánicos y buena resistencia al creep a altas temperaturas (superiores a 650°C), es muy recomendable para el soldeo de tuberías, presenta muy buena estabilidad de arco y poco chisporroteo, se recomienda emplearlo en corriente continua al polo positivo.

Clasificación

AWS A5.5: E9016-B9

Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Cr	Nb	V	Otros
0.085	0.60	0.22	0.009	0.009	1	9.50	0.04	0.2	N = 0.05

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Con Tratamiento Térmico 750°C x 2 h	655 (94975)	524 (75980)	> 19	---

Conservación del producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento en horno: 125 a 150 °C
- Resecado de 350°C a 400°C por 2 horas,

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de Soldadura

Para corriente continua (DC) : Electrodo al polo positivo DCEP o Corriente Alterna

Diámetro	[mm]	1.60	2.50	3.20	4.00	5.00	6.30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	70	90	125	-	-
Amperaje máximo		-	90	130	190	-	-

Pre calentamiento y Tratamiento Térmico

- Pre calentamiento en función al espesor del material entre 250 - 350°C
- Temperaturas de interfase máxima entre 350°C - 450°C.

Aplicaciones

- Para soldar aceros tipo Cr-Mo (9%Cr - 1%Mo)
- ASTM A213 T91, A335 P91, A387 Gr 91, A182 F91

Nota: Consultar producción.

Electrodo revestido de tipo básico cuyo depósito es una aleación de acero cromo - molibdeno (5% Cr - 0.5% Mo), es muy recomendable para el soldado de tuberías, dentro de sus características principales se encuentran sus excelentes valores de resistencia a la fluencia y tracción despues de realizar el tratamiento térmico, muy buena estabilidad de arco y poco chisporroteo, se recomienda emplearlo en corriente continua al polo positivo.

Clasificación	
AWS A 5.5 / ASME-SFA 5.5	E 8018-B6

Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.06	0.90	0.30	máx 0.020	máx 0.020	0.5	-	5.00	-	---

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Tratamiento térmico (1)	600 – 700 (87 000 – 101 500)	> 460 (66 700)	> 19	> 100 (74) [+20 °C (+68 °F)]
Tratamiento térmico (2)	650 – 750 (94 250 – 108 750)	> 580 (84 100)	> 17	> 120 (74) [+20 °C (+68 °F)]

Conservación del producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento en horno: 125 a 150 °C.
- Resecado de 340°C a 360 °C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



Parámetros de soldado recomendados

Para corrientes continua (DC) : Electrodo al polo positivo DCEP

Diámetro	[mm]	1.60	2.50	3.25	4.00	5.00	6.30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	65	90	125	-	-
Amperaje máximo		-	95	130	165	-	-

Pre calentamiento y Tratamiento Térmico

- Pre calentamiento en función al espesor del material entre 150 - 250°C.
- Temperaturas de interfase máxima entre 250°C – 300°C.
- Tratamiento térmico (1) 740°Cx1 h/aire.
- Tratamiento térmico (2) 960°C x 0.5 h/aire + 710°Cx2h.

Aplicaciones

- Para soldar aceros tipo Cr. Mo. (5% Cr - 0.5 % Mo).
- 12CrMo 19-5, X12CrMo5; ASTM A182 Gr. F5, ASTM A199 Gr. T5, ASTM A213 Gr. T5, ASTM A335 Gr. P5.
- ASTM A336 ClF5, ASTM A369 Gr.FP5, ASTM A387 Gr.5 Cl 1 y 2.

Varilla cobreada de acero al Cr-Mo (acero de baja aleación) para proceso TIG (GTAW). El metal depositado es resistente al Creep en aceros sometidos a temperaturas de trabajo de hasta 550° C. Presenta buena resistencia a altas temperaturas y a la corrosión. Su depósito es fácilmente maquinable, libre de poros y fisuras.

Clasificación

AWS A5.28 / ASME SFA-5.28 ER80S-B2

Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Fe
0.07	0.40	0.40	máx.	máx.	0.40	0.20	1.2	0.35	Resto
0.12	0.70	0.70	0.025	0.025	0.65	máx.	1.5	máx.	

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (20°C) [J]
Sin tratamiento	610 - 710 (88 700 - 103 300)	mín. 510 (74 200)	mín. 24	mín. 95

Conservación del producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura

P, H, Sc, Vd.



Parámetros de soldeo recomendados

Diámetro [mm (pulg)]	2.50 (3/32")	3.25 (1/8")
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN)	
Gas protector	100% Ar	
Amperaje (A)	20 - 150	30 - 250
Voltaje (V)	9 - 15	10 - 20
Stick out (mm)	-	-
Flujo de Gas (l / min)	5 - 15	5 - 15

Aplicaciones

- Para la soldadura de unión de aceros 1/2Cr-1/2Mo, 1Cr-1/2Mo, 1¼Cr-1/2Mo, H IV L, 13CrMo4 4, GS-17CrMo5 5, etc. Tuberías de caldero, recipientes de presión, hornos, líneas de tubería, etc.
- Ideal para: uniones disímiles entre acero al Cr-Mo y acero al carbono, aceros endurecibles o aceros susceptibles a tratamientos térmicos y aceros resistentes al fisuramiento causado por soluciones alcalinas.
- Cuando se realiza soldadura multipase es indispensable una buena limpieza del cordón de soldadura en cada uno de los pases.
- La temperatura de precalentamiento e interpase depende de la composición química y espesor del metal base.

EXSATIG 9Cr 1Mo

Varilla sólida de acero al Cr-Mo (acero de baja aleación) para proceso TIG (GTAW). La aleación está diseñada para la soldadura de materiales de similar composición química sometidos a altas temperaturas de servicio; muy buena resistente al "Creep" (fluencia lenta), sus depósitos son muy susceptibles al endurecimiento al aire, se requiere una precalentamiento y tratamiento térmico postsoldadura. Su aplicación es recomendable en tuberías de alta presión, calderas y elementos que operan a temperaturas superiores a 650°C.

Clasificación

ASME SFA-5.28 / AWS A5.28 ER90S-B9

Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	V	Fe
0.09	0.6	0.25	0.007	0.002	0.95	0.32	8.40	0.2	Resto

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (20°C) [J]
Con Tratamiento Térmico 740°C X 1h	750 (108750)	568 (82360)	18	-

Conservación del producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura

P, H, Sc, Vd.



Parámetros de soldeo recomendados

Diámetro [mm (pulg)]	2.50 (3/32")
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN)
Gas protector	Argón Puro
Amperaje (A)	35 - 150
Voltaje (V)	7 - 14
Stick out (mm)	-
Flujo de Gas (L / min)	10 - 15

Aplicaciones

- Para soldar aceros tipo 9%Cr 1%Mo
- ASTM A182 Gr. F91, A199 Gr. T91, A213 Gr. T91, A335 Gr. P91
- ASTM A336 ClF91, A369 Gr.FP91, A387 Gr.91

EXSATIG 5Cr 0.5Mo

SOLDEXA

GTAW
Aceros al carbono y baja aleación

Varilla sólida de acero al Cr-Mo (acero de baja aleación) para proceso TIG (GTAW). La aleación está diseñada para la soldadura de materiales de similar composición química sometidos a altas temperaturas de servicio; muy buena resistente al "Creep" (fluencia lenta), sus depósitos son muy susceptibles al endurecimiento al aire, se requiere una pre-calentamiento y tratamiento térmico post-soldadura normalmente.

Clasificación

AWS A5.28 / ASME SFA-5.28	ER 80S-B6
---------------------------	-----------

Análisis Químico de metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Fe
0.10	0.40	0.50	máx.	máx.	0.45	0.60	4.50	0.35	Resto
máx.	0.70	máx.	0.025	0.025	0.65	máx.	6.00	máx.	

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (20°C) [J]
Sin tratamiento	630 (91 350)	480 (69 600)	25	-

Conservación del producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura

P, H, Sc, Vd.



Parámetros de soldeo recomendados

Diámetro [mm (pulg)]	2.50 (3/32")	3.25 (1/8")
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN)	
Gas protector	100% Ar	
Amperaje (A)	20 - 150	50 - 250
Voltaje (V)	9 - 15	10 - 20
Stick out (mm)	-	-
Flujo de Gas (l / min)	5 - 15	5 - 15

Aplicaciones

- Para soldar aceros para calderas tipo 5 Cr 0.5 Mo.
- 12CrMo 19-5, X12CrMo5; A182 Gr. F5, A199 Gr. T5, A213 Gr. T5, A335 Gr. P5.
- A336 ClF5, A369 Gr.FP5, A387 Gr.5 Cl 1 y 2.

SOLDEXA

Tel.: 51 1 6199600 | Fax: 51 1 6199619
e-mail: mail@soldexa.com.pe
www.soldexa.com.pe

APENDICE N° 8:

INFORMACIÓN TÉCNICA DEL REFRACTARIO

- **HOJA TÉCNICA – KAOLITE 2500 LI GUN**
- **CURVA DE SECADO TIPICA - HASTA 3 PULG.**
- **CURVA DE SECADO TIPICA - DE 3 A 6 PULG.**
- **CURVA DE SECADO TIPICA – DE 6 A 10 PULG.**
- **HOJA DE INFORMACIÓN DE SEGURIDAD**



The light weight and low thermal conductivity of Kaolite castables reduce both the quantity of heat storage in the wall and the amount of heat flowing through the wall, producing significant savings in fuel consumption. The gunning versions of the Kaolite castables exhibit very low rebound and can be gunned very easily with conventional equipment. They can also be cast, if necessary.

Kaolite 2000-HS Gun is a high strength, lightweight castable designed for easy gunite placement (very low rebound). Kaolite 2000-HS Gun maintains excellent volume stability throughout its 2000°F (1093°C) temperature use range.

Kaolite 2200 Gun is a lightweight castable designed for temperatures up to 2200°F (1204°C). It has excellent volume stability, good strength, and low thermal conductivity.

Kaolite 2200-HS Gun is a high-strength, lightweight castable designed for easy gunite placement (very low rebound). Kaolite 2200-HS Gun has excellent volume stability up to 2200°F (1204°C) and good abrasion resistance for an insulating castable. It possesses the best thermal conductivity-to-weight ratio in the industry.

Kaolite 2300-LI Gun is a low-iron, 2300°F (1260°C) high strength, lightweight castable with very low thermal conductivity. It incorporates a high-purity binder for applications where hydrogen or reducing atmospheres are present.

Kaolite 2500-LI Gun is a 2500°F (1371°C) lightweight insulating castable that contains an intermediate-purity, calcium-aluminate cement. Total iron content of $\leq 1.0\%$ enables its use where hydrogen or reducing atmospheres are present.

Kaolite 2500-HS Gun is a high-strength insulating castable designed for temperatures up to 2500°F (1371°C). It has excellent thermal stability throughout its temperature use range.

Kaolite 2500 EXHS is an extra high-strength castable designed for temperatures up to 2500°F (1371°C). It has excellent thermal stability throughout its temperature use range.

Kaolite® Gunning Insulating Castables

Product Information

Kaolite 2600-LI Gun is a high-strength, 2600°F (1427°C) insulating castable specially suited for use in petrochemical applications. It incorporates a high-purity binder for low iron content.

Instructions For Using

Gunning

Use suitable gunite equipment. Material should be predampened uniformly with approximately:

8-9% - 2300-LI Gun, 2000-HS Gun, 2200-HS Gun, 2000 Gun

6-8% - 2600-LI Gun, 2500 EXHS

5-7% - 2500-HS Gun

6-8% - 2500-LI Gun

by weight of clean water in a mechanical mixer before placing into a gun. This will reduce rebound and dust. Add required water at nozzle for effective placement. Suggested air pressure at nozzle is between 25 and 35 psi (0.17 and 0.24 MPa).

Casting

Highest strength is obtained with a castable refractory by using the least amount of clean mixing water. This will allow thorough working of material into place by vibrating or rodding. A mechanical mixer is required for proper placement (paddle-type mortar mixers are best suited). After adding the recommended amount of water to achieve a ball-in-hand consistency, wet mix for a minimum of 6 minutes. Place material within 30 minutes after mixing.

Precautions

Store bagged castables in a dry place, off the ground and, when possible, with the original shrink wrapping intact. Watertight forms must be used when placing material. All porous surfaces that will come in contact with the material must be waterproofed with a suitable coating or membrane. For maximum strength, cure 24 hours under damp conditions before initial heat-up. Keep freshly placed castable warm during cold weather, ideally between 70°F and 80°F (21°C and 27°C). New castable installations must be heated slowly the first time. Freshly placed lightweight castables are prone to a deteriorating condition called alkali hydrolysis when they are kept in a non-dried state for a sustained period of time in a warm, humid environment. Under these conditions, the castables should be force-dried soon after placement or coated with Kao-Seal to resist the possible deterioration effects.

For more information on castable placement, consult your Thermal Ceramics representative.

Kaolite Gunning Insulating Castables

Product Information

Specifications	2000-HS	2200	2200-HS	2300-LI	2500-LI	2500-HS	2500-EXHS	2600-LI
Average lb (kg) required to place one ft ³ ¹	61 (28)	61 (28)	78 (35)	61 (28)	71 (32)	82 (37)	87 (40)	83 (37)
Rec. use limit, °F (°C)	2000 (1093)	2200 (1204)	2200 (1204)	2300 (1260)	2500 (1371)	2500 (1371)	2500 (1371)	2600 (1427)
Density, pcf (kg/m ³) [*]								
fired @ 1500°F (816°C)	55-65 (881-1041)	55-65 (881-1041)	68-78 (1089-1250)	54-64 (865-1025)	62-73 (1025-1170)	71-86 (1138-1378)	83-89 (1330-1426)	70-82 (1122-1314)
fired @ use limit	57-65 (913-1041)	57-65 (913-1041)	72-80 (1153-1282)	56-64 (897-1025)	64-73 (1025-1170)	76-88 (1218-1410)	84-94 (1346-1506)	78-88 (1250-1410)
Pounds per bag, (kg)	40 (18)	40 (18)	50 (23)	40 (18)	50 (23)	50 (23)	50 (23)	50 (23)
Shelf life, months	12	12	12	12	12	12	12	12

Physical Properties

Modulus of Rupture, psi (MPa) (ASTM C 133)

dried 18-24 hrs.	90-150	90-150	300-550	100-180	150-250	250-400	400-600	300-500
@ 220°F (104°C)	(0.62-1.03)	(0.62-1.03)	(2.06-3.79)	(0.68-1.24)	(1.03-1.72)	(1.72-2.75)	(2.75-4.13)	(2.06-3.44)
fired 5 hrs. @ 1500°F (816°C)	90-275	90-275	300-600	90-275	120-250	250-500	375-600	120-200
@ use limit	(0.62-1.90)	(0.62-1.90)	(2.07-4.14)	(0.62-1.90)	(0.82-1.72)	(1.72-3.44)	(2.58-4.13)	(0.82-1.37)
	140-300	140-300	300-600	135-350	250-400	400-650	500-750	700-1200
	(0.97-2.07)	(0.97-2.07)	(2.07-4.14)	(0.93-2.41)	(1.72-2.75)	(2.75-4.48)	(3.44-0.34)	(4.82-8.27)

Cold Crushing Strength

dried 18-24 hrs.	300-500	300-500	900-1500	350-500	450-650	700-1200	1700-2400	800-1500
@ 220°F (104°C)	(2.06-3.45)	(2.06-3.45)	(6.20-10.34)	(2.41-3.45)	(3.10-4.48)	(4.82-8.27)	(11.72-16.55)	(5.51-10.34)
fired 5 hrs. @ 1500°F (816°C)	350-1000	350-1000	1100-1900	350-900	500-950	800-1600	1000-1600	700-1500
@ use limit	(2.41-6.89)	(2.41-6.89)	(7.59-13.10)	(2.41-6.20)	(3.45-6.55)	(5.51-11.03)	(6.89-11.03)	(4.82-10.34)
	450-900	450-900	1100-1900	400-900	600-1000	900-1600	1100-1800	1000-2000
	(3.10-6.20)	(3.10-6.20)	(7.59-13.10)	(2.75-6.20)	(4.13-6.89)	(6.20-11.03)	(7.58-12.41)	(6.89-13.79)

Perm. Linear Change, % (ASTM C 113)²

dried 18-24 hrs.								
@ 220°F (104°C)	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2	0 to -0.2
fired 5 hrs. @ 1500°F (816°C)	-0.2 to -0.6	-0.2 to -0.6	-0.2 to -0.55	-0.2 to -0.6	-0.2 to -0.5	-0.2 to -0.5	-0.2 to -0.5	-0.2 to -0.5
@ use limit	-0.3 to -0.8	-0.3 to -0.8	-0.8 to -1.5	-1.0 to -2.0	-0.5 to +1.0	-0.5 to +0.5	-0.6 to +0.5	0 to +1.5

Chemical Analysis, %³

Alumina, Al ₂ O ₃	37	37	41	39	44	42	42	44
Silica, SiO ₂	40	40	31	40	35	38	37	38
Ferric oxide, Fe ₂ O ₃	2.4	2.4	3.0	0.9	0.9	2.5	2.5	1.4
Titanium oxide, TiO ₂	0.8	0.8	0.8	1.7	1.8	1.0	1.0	1.8
Calcium oxide, CaO	18 (10)	18 (10)	23 (16)	17 (9)	17 (11)	15 (11)	16 (11)	13 (10)
Magnesium oxide, MgO	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2
Alkalies, as, Na ₂ O	1.4	1.4	0.2	0.3	1.3	0.7	0.7	0.7

Thermal Conductivity, Btu·in./hr·ft²·°F (w/m·k), ASTM C 417

Mean temperature								
@ 500°F (260°C)	1.48 (0.21)	1.48 (0.21)	1.90 (0.27)	1.46 (0.21)	1.86 (0.27)	2.8 (0.40)	2.8 (0.40)	2.9 (0.42)
@ 1000°F (538°C)	1.63 (0.23)	1.63 (0.23)	2.02 (0.29)	1.65 (0.24)	2.05 (0.30)	3.0 (0.43)	3.0 (0.43)	2.9 (0.42)
@ 1500°F (816°C)	1.79 (0.26)	1.79 (0.26)	2.11 (0.30)	1.82 (0.26)	2.25 (0.32)	3.2 (0.46)	3.2 (0.46)	3.0 (0.43)
@ 2000°F (1093°C)	-	-	-	2.0 (0.29)	2.46 (0.35)	3.5 (0.50)	3.6 (0.52)	3.2 (0.46)

Other

Material can be rammed or plastered into place by adding a sufficient amount of water for proper consistency. Follow recommended mixing instructions described above.

¹ Products may be cast. Densities may vary from gunned.

² Guniting installation may require 10 - 30% more material due to compaction and rebound loss.

³ Fired linear change values reflect samples taken from a dried to fired state.

⁴ Chemical analysis % for CaO in parentheses indicates the % of reactive CaO present if less than the total. The balance is calcia from the anorthite aggregate.

Compliance data sheets for specific applications or job requirements are available upon request.

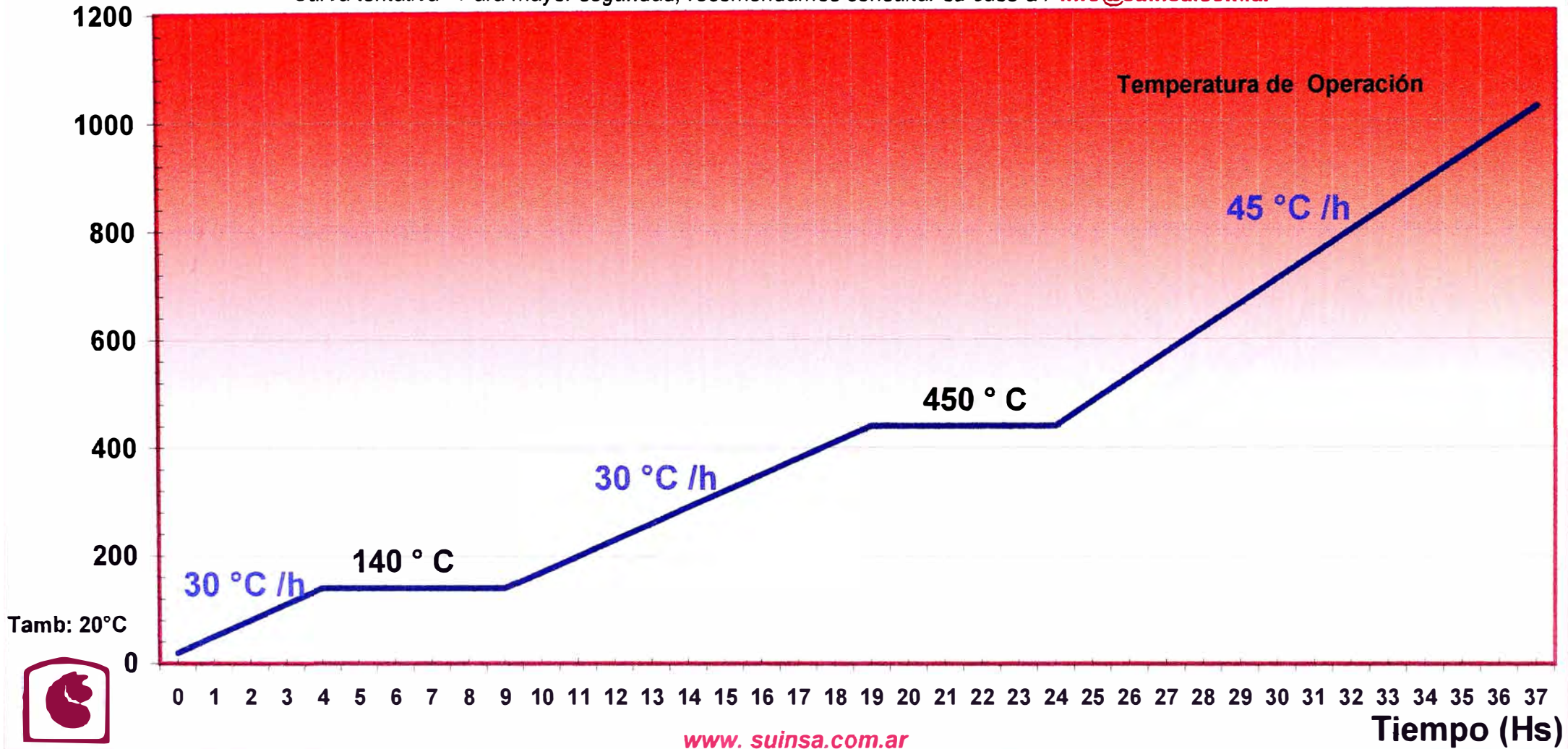
CURVA SECADO TIPICA PARA HORMIGONES **AISLANTES MEDIANOS**

Densidad : **900 - 1500** Tn/m3

Espesor = **< 3 "**

Curva tentativa - Para mayor seguridad, recomendamos consultar su caso a : info@suinsa.com.ar

Temp °C



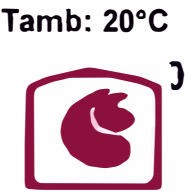
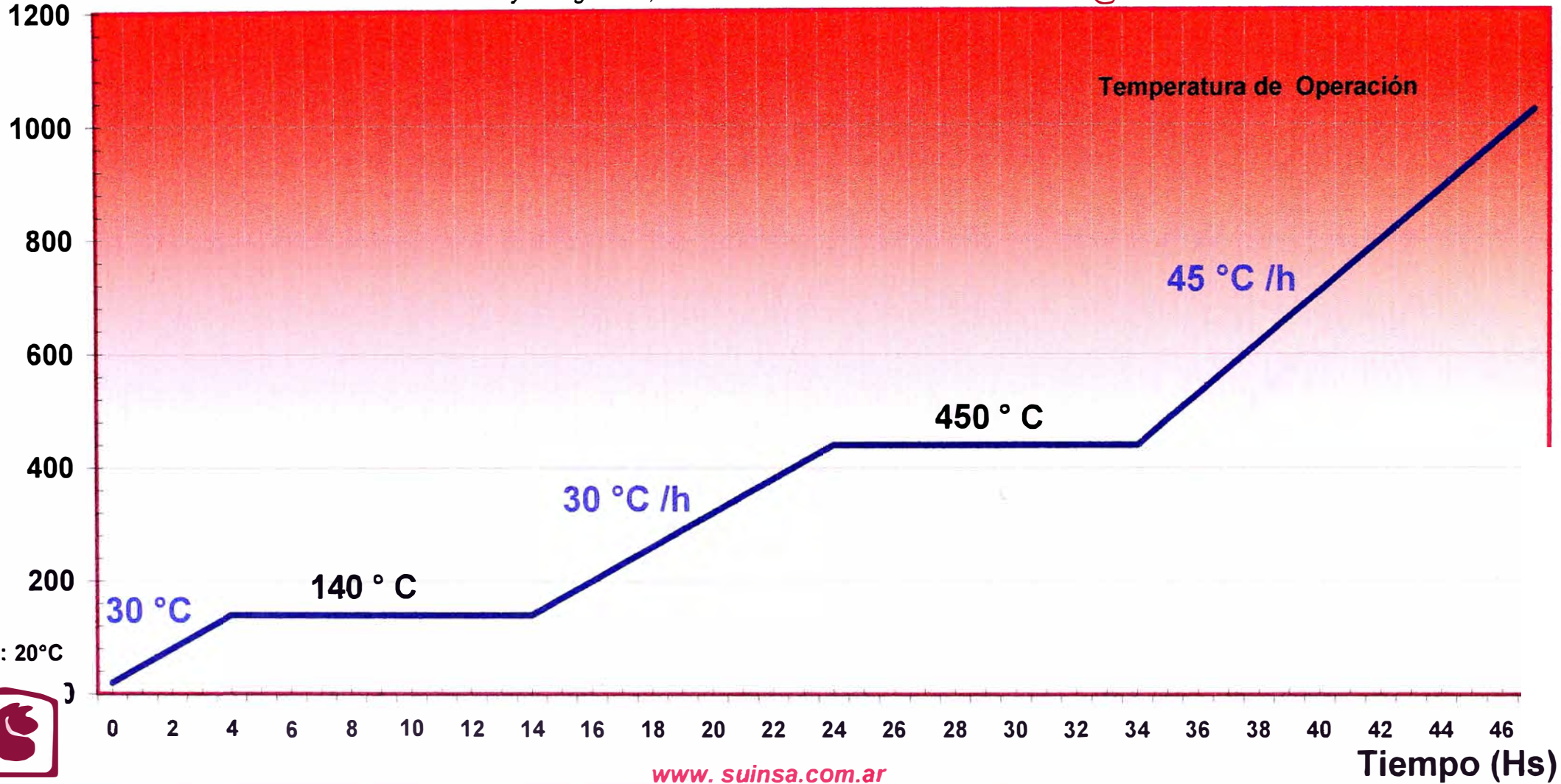
CURVA SECADO TIPICA PARA HORMIGONES AISLANTES MEDIANOS

Densidad : **900 - 1500** Tn/m³

Espesor = **3 - 6** "

Curva tentativa - Para mayor seguridad, recomendamos consultar su caso a : info@suinsa.com.ar

Temp °C



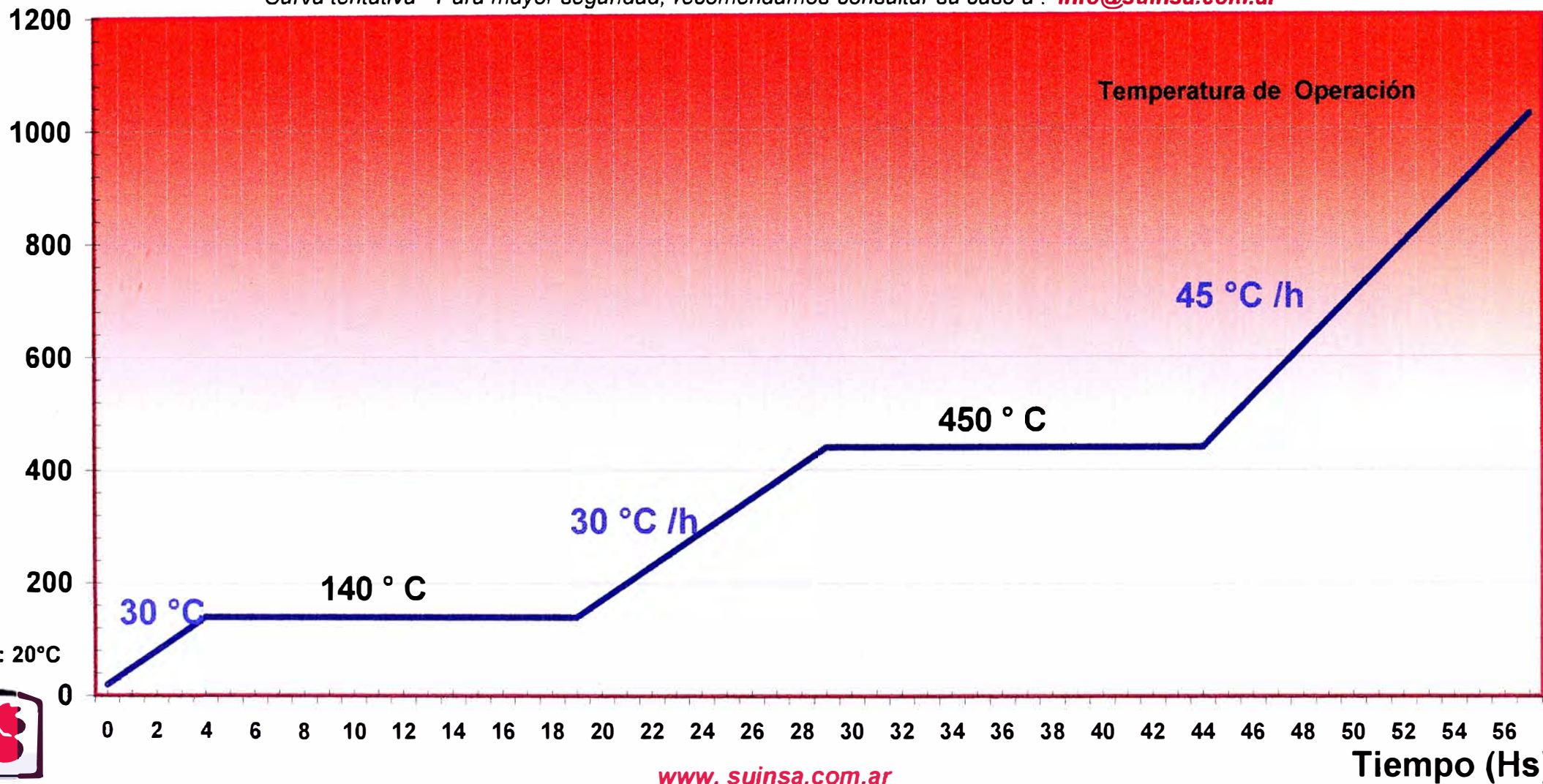
CURVA SECADO TIPICA PARA HORMIGONES **AISLANTES MEDIANOS**

Densidad : **900 - 1500** Tn/m³

Espesor = **6 - 10 "** (mas de 10", consultar)

Curva tentativa - Para mayor seguridad, recomendamos consultar su caso a : info@suinsa.com.ar

Temp °C



www.suinsa.com.ar



HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP Nº:	026-01	Fecha de Preparación:	19/03/03	Revisado:	21/03/05
-----------------	--------	------------------------------	----------	------------------	----------

SECCION 1 - IDENTIFICACION GENERAL

Nombre del Material:	Hormigón Refractario
Nombre común:	Hormigón refractario aislante, concreto refractario aislante
Aplicación:	aislación térmica a alta temperatura
Nombres Comerciales:	Kaolite®: 2000HS, 2200, 2200HS, 2300LI, 2500HS, 2500LI, 2600LI, 2800, 2800Gun, 2200HS Gun, 2300LI Gun, 2500HS Gun, 2500LI Gun, 2600LI Gun, 3000C
Fabricante / Proveedor:	CARBO SAN LUIS S.A. Talcahuano 736, 4º piso C1013AAP, Buenos Aires, Argentina TE: 54-11-4373 4439 Fax : 54-11-4372 3331

SECCION 2 – COMPOSICION QUIMICA / INFORMACION SOBRE COMPONENTES

<u>Nº CAS DEL COMPONENTE</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>LEP OSHA</u>	<u>CMP Ley 19.587</u>
Sílice cristalina – cuarzo			
14808-60-7	Hasta 3	0,1 mg/m ³ (respirable)	0,1 mg/m ³
Sílice cristalina – cristobalita			
14464-46-1	Hasta 4	0,05 mg/m ³ (respirable)	0,05 mg/m ³
Caolín			
1332-58-7	25 a 50	15 mg/m ³	10 mg/m ³
Cemento alta alúmina			
65997-16-2	Hasta 45	10 mg/m ³ (total); 5 mg/m ³ (respirable)	10 mg/m ³
Carbonato de calcio			
1317-65-3	hasta 25	15 mg/m ³ (total); 5 mg/m ³ (respirable)	10 mg/m ³
Perlita			
93763-70-3	0 a 20	15 mg/m ³ (total); 5 mg/m ³ (respirable)	10 mg/m ³

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP N°:	026-01	Fecha de Preparación:	19/03/03	Revisado:	21/03/05
----------	--------	-----------------------	----------	-----------	----------

SECCION 3 - IDENTIFICACION DE RIESGOS

INFORMACION DE EMERGENCIA

**** ADVERTENCIA ****

- Riesgo de contraer cáncer por inhalación (VER ABAJO)
- El polvo generado por este producto puede agravar enfermedades pulmonares crónicas preexistentes tales como bronquitis, enfisema y asma

Posibles efectos

Organos sensibles:	Ojos, piel y sistema respiratorio
Vía de acceso primaria:	Inhalación
Efectos agudos:	Irritación física del tracto respiratorio superior. Irritación e inflamación de ojos por contacto y de la piel por contacto prolongado
Efectos crónicos:	La inhalación prolongada o reiterada de sílice cristalina respirable puede causar daños pulmonares retardados (silicosis). [Ver Sección 11 de esta HISP para ampliar información].

Clasificación de Riesgo: La **Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer (IARC)** clasificó a la sílice cristalina inhalada en forma de cuarzo o cristobalita proveniente de ambientes de trabajo como cancerígenas para los seres humanos (Grupo 1). Esta clasificación del IARC se basó en un relativamente gran número de estudios epidemiológicos que en conjunto proveen evidencia suficiente sobre la carcinogenicidad para los seres humanos de la sílice cristalina inhalada. Ver sección 16

Síntomas de exposición excesiva:

Contacto en ojos:	Irritación física, laceración
Contacto en piel:	Irritación física
Ingestión:	Puede causar irritación temporaria al tracto gastrointestinal
Inhalación:	Disminución de la función pulmonar y placas radiográficas torácicas anormales

SECCION 4 – PRIMEROS AUXILIOS

Contacto en ojos:	Enjuagar con grandes cantidades de agua por al menos 15 minutos. No frotar ojos.
Contacto en piel:	Lavar suavemente área afectada con agua y jabón. Puede resultar beneficioso la aplicación de crema o loción después del lavado.
Ingestión:	No inducir vómitos; beber abundante cantidad de agua.
Inhalación:	Sacar al afectado al aire libre.

**** Consulte a un médico de inmediato de persistir cualquiera de estos síntomas ****

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP N°:	026-01	Fecha de Preparación:	19/03/03	Revisado:	21/03/05
-----------------	--------	------------------------------	----------	------------------	----------

SECCION 5 – INCENDIO Y EXPLOSION

Riesgos especiales:	Ninguno
Punto flash:	No combustible
Medios de extinción:	Usar medios adecuados para el fuego circundante
Peligro de explosión:	Ninguno
Equipo de protección:	Utilizar respirador aprobado por NIOSH en conjunto con vestimenta protectora adecuada para el fuego circundante

SECCION 6 – MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Derrames / Pérdidas:	Evitar generación de polvo en suspensión en la atmósfera. Seguir procedimientos de limpieza de rutina. Aspirar solamente con equipos provistos de filtros HEPA. Si es necesario barrer, usar un supresor de polvo y colocar el material en recipientes cerrados. <u>No usar aire comprimido para limpiar.</u> El personal debe usar guantes, antiparras y respirador aprobado. Evitar procedimientos de limpieza que puedan contaminar el agua.
----------------------	---

SECCION 7 – MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Manipuleo:	Limitar uso de equipos a motor a menos que sea en conjunto con extracción local. Usar equipos manuales siempre que sea posible. Limpiar el área de trabajo frecuentemente con equipo de vacío provisto de filtro HEPA o pasar trapo húmedo para minimizar la acumulación de desechos. <u>No usar aire comprimido para limpiar.</u>
Almacenamiento:	Este producto es estable bajo cualquier condición de almacenamiento. Almacenar en recipiente original de fábrica en un área seca. Mantener recipiente cerrado cuando no se use.

SECCION 8 – CONTROLES DE EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Equipamiento de control:	Usar equipos de control tales como extractores y aparatos de recolección de polvo para reducir concentraciones de partículas en aire al mínimo nivel posible.
Vestimenta de seguridad:	Pantalones largos, camisas de manga larga, protección ocular y cabeza cubierta. Lavar la vestimenta de trabajo separado de otras ropas. Enjuagar lavarropas después de usar. Si se lleva la ropa de trabajo a su casa se recomienda que aspire su vestimenta con una aspiradora con filtro HEPA antes de abandonar el área de trabajo.
Protección ocular:	Se deben usar antiparras
Protección respiratoria:	Cuando no resulte posible reducir significativamente suspensiones de sílice cristalina o niveles de partículas por debajo del LEP mediante equipos de control, o hasta tanto éstos se instalen, se debe incentivar que los empleados utilicen las prácticas de trabajo recomendadas junto a la protección respiratoria. Antes de proveer de respiradores a los empleados (especialmente los de presión negativa) se debe:

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP N°: 026-01 Fecha de Preparación: 19/03/03 Revisado: 21/03/05

1) efectuar monitoreos de sílice cristalina respirable y/o concentraciones de polvo utilizando los métodos analíticos de NIOSH adecuados y seleccionar la protección respiratoria adecuada en base a los resultados de este monitoreo, 2) un médico debe evaluar a los empleados para determinar su habilidad para utilizar respiradores, y 3) implementar programas de entrenamiento para utilización de protección respiratoria, en cumplimiento con la Norma de Protección Respiratoria de OSHA 29 CFR 1910.134 y 29 CFR 1926.103 para el riesgo particular o las concentraciones de partículas en aire encontradas en el ámbito de trabajo. Contacte a su proveedor para información actualizada sobre selección de respirador.

Protección respiratoria recomendada	
MATERIAL VIRGEN Y USADO	
CONCENTRACION	RESPIRADOR
hasta LEP	Respirador descartable para partículas (N,R, ó P, clasificación 95) o respirador de media cara con purificador de aire con cartuchos de filtro de alta eficiencia (P100)
entre 1 y 10 LEP	Respirador de media cara con purificador de aire de alta eficiencia (HEPA) o cartuchos de filtro clasificados P100
entre 10 y 50 LEP	Máscara facial completa con purificador de aire y filtro para partículas de alta eficiencia (HEPA) o cartuchos de filtro clasificados P100, o respirador eléctrico con purificador de aire (PAPR) con filtro para partículas de alta eficiencia (HEPA) o cartuchos de filtro clasificados P100
más de 50 LEP	Máscara facial completa con presión positiva

NOTA: Cuando se trabajen a niveles de exposición desconocidos o en conjunto con otros contaminantes, consultar un especialista en seguridad industrial para monitoreo de aire y selección de respirador.

SECCION 9 – PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia y olor:	Mezcla granulada		
Grupo químico:	concreto refractario aislante		
Presión de vapor:	n/c	Densidad de vapor:	n/c
Punto de ebullición:	n/c	Rango densidad específica:	n/c
Punto de fusión:	1371°C	Volatilidad por volumen (%):	n/c
Solubilidad en agua (%):	no soluble en agua	PH:	n/c

SECCION 10 – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Polimerización peligrosa:	no se verifica
Incompatibilidades químicas:	oxidantes fuertes: fluoruro, trióxido de manganeso, disulfuro de oxígeno
Productos de descomposición peligrosos:	Ninguno

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP N°:	026-01	Fecha de Preparación:	19/03/03	Revisado:	21/03/05
-----------------	--------	------------------------------	----------	------------------	----------

SECCION 11 – INFORMACION TOXICOLOGICA

Epidemiología:

- Sílice Cristalina

Los resultados de diversos estudios epidemiológicos indican que las enfermedades que pueden ser causadas por inhalación incontrolada de sílice cristalina incluyen silicosis, tuberculosis pulmonar o bronquitis de origen industrial. Al evaluar a la sílice cristalina como factor de riesgo de cáncer la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer (IARC) revisó diversos estudios provenientes de diferentes industrias y concluyó que la sílice cristalina proveniente de fuentes laborales e inhalada en forma de cuarzo o cristobalita es cancerígena para los seres humanos (Grupo 1) [Monografía IARC; Vol. 68, Junio 1997].

Sin embargo, al llegar a esta conclusión la IARC declaró que la carcinogenicidad en seres humanos podía no estar presente en todas las industrias estudiadas y que la misma puede ser dependiente de características inherentes a la sílice cristalina o a factores externos que afecten la actividad biológica (por ejemplo, fumar cigarrillos) o a la distribución de sus formas polimorfas.

Toxicología:

- Sílice Cristalina

Existe suficiente evidencia en animales experimentales de carcinogenicidad de la sílice respirable [Monografía IARC; Vol. 42, 1987 y Monografía IARC; Vol. 68, 1997]. La inhalación e instalación intratraqueal de sílice cristalina ha provocado cáncer pulmonar en ratas; sin embargo, en estudios realizados en otras especies tales como ratones y hámsters no se observó cáncer pulmonar. En diversos estudios de inhalación e instalación intratraqueal se observó que la sílice cristalina también causa fibrosis en ratas y hámsters.

SECCION 12 – INFORMACION ECOLOGICA

No se prevén efectos adversos de este material al medio ambiente.

SECCION 13 –ELIMINACION DE DESECHOS

Eliminación de desechos:

Se recomienda utilizar recipientes cerrados o bolsas de plástico para evitar la suspensión de materiales de desecho en la atmósfera. Cumplir con legislaciones federal, provincial y municipal vigentes. Método de eliminación: relleno sanitario. El agregado de sustancias químicas, de proceso o de cualquier otro tipo pueden hacer que la información en esta HISP sea incompleta, inexacta o inapropiada.

SECCION 14 –TRANSPORTE

El nombre del producto debe figurar en el conocimiento de embarque y/o en la carta de porte.

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP Nº: 026-01 **Fecha de Preparación:** 19/03/03 **Revisado:** 21/03/05

NFPA: National Fire Protection Association
CMP: Concentraciones Máximas Permisibles
LEP: Límite de Exposición Permissible = **PEL:** Permissible Exposure Limit (OSHA)
OSHA: Occupational Safety and Health Administration – Administración de Seguridad y Salud Ocupacional / EE.UU.
VLU: Valores Límite Umbral = **TLV:** Threshold Limit Values (ACGIH)
29 CFR 1910.134 & 1926.103: Normas OSHA de Protección Respiratoria
29 CFR 1910.1200 & 1926.59: Normas OSHA de Comunicación de Riesgos

**** DECLARACION DE RESPONSABILIDAD LIMITADA ****

La información contenida en esta Hoja de Información de Seguridad de Producto, tiene por objeto describir el producto teniendo en cuenta los requerimientos de higiene y seguridad industrial y se brinda de buena fe. Se trata de recomendaciones y sugerencias, que sin embargo no constituyen garantías explícitas o implícitas de nuestra parte, ya que las condiciones de uso están más allá de nuestro control.

HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

HISP N°:	026-01	Fecha de Preparación:	19/03/03	Revisado:	21/03/05
----------	--------	-----------------------	----------	-----------	----------

INFORMACION DE SEGURIDAD RESUMIDA DE PRODUCTO

Kaolite®: 2000HS, 2200, 2200HS, 2300LI, 2500HS, 2500LI, 2600LI, 2800, 2800Gun, 2200HS Gun, 2300LI Gun, 2500HS Gun, 2500LI Gun, 2600LI Gun, 3000C

HORMIGON AISLANTE

ADVERTENCIA:

Este producto contiene sílice cristalina.

Evite aspirar partículas y polvo

RIESGOS:

- Posible riesgo de contraer cáncer por inhalación
- Puede causar silicosis (enfermedad pulmonar) por inhalación
- Puede causar irritación temporaria a ojos, piel, nariz y tracto respiratorio(nariz, garganta y pulmones)

MEDIDAS PREVENTIVAS:

- Minimizar generación de partículas en aire y polvo mediante equipos de control
- Usar respirador certificado por NIOSH
- Usar vestimenta no ajustada de manga larga, pantalones largos, protección ocular y guantes
- Lavar ropa de trabajo separada de otras ropas y enjuagar el lavarropas después de usar

PRIMEROS AUXILIOS:

Ojos: Lavar con agua corriente

Piel: Lavar con agua y jabón

Ingestión: No inducir vómitos. Procurar atención médica si los síntomas persisten

Inhalación: Sacar al afectado al aire fresco

**** De persistir cualquiera de estas irritaciones consulte a un médico de inmediato ****

VER HOJA DE INFORMACION DE SEGURIDAD DE PRODUCTO PARA INFORMACION ADICIONAL SOBRE PRODUCTO Y PRACTICAS DE TRABAJO (HISP)

CARBO SAN LUIS S.A.
Talcahuano 736, 4º piso
C1013AAP, Buenos Aires – Argentina
TE: 54-11-4373 4439
E-mail: ventas@carbosanluis.com.ar